

**METODE PENENTUAN LOKASI GANGGUAN
BERDASARKAN DATA PENGUKURAN
TEGANGAN DAN ARUS
PADA DUA TERMINAL**

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

IGNASIUS GUNAWAN WIBISONO

NRP : 2291 100 029

RSE
621.319
WIB
m-1
1996



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1996**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	15 JAN 1997
Terima Dari	H
No. Agenda P.p.	6219

**METODE PENENTUAN LOKASI GANGGUAN
BERDASARKAN DATA PENGUKURAN
TEGANGAN DAN ARUS
PADA DUA TERMINAL**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
S u r a b a y a**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



(Ir. S i d a r j a n t o)

Dosen Pembimbing II



(Ir. Margo Pujiantara, M.T.)

**S U R A B A Y A
September , 1996**

ABSTRAK

Saluran transmisi tenaga listrik tidak dapat terlepas dari gangguan hubung singkat, baik gangguan hubung singkat antar fasa maupun gangguan hubung singkat fasa dengan tanah. Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi umumnya dapat mengakibatkan kerusakan mekanis pada sistem yang sedang mengalami gangguan tersebut, karenanya dibutuhkan suatu peralatan yang dapat mendeteksi lokasi gangguan guna mempercepat proses perbaikan terutama bila gangguan bersifat permanen.

Pendeteksian lokasi gangguan hubung singkat disini menggunakan pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan oleh rele impedansi digital yang terpasang pada kedua sisi terminal yang menghubungkan saluran yang terganggu. Untuk pengujian metoda estimasi lokasi gangguan dari dua terminal ini, rele impedansi digital disimulasikan dalam bentuk program komputer berdasarkan studi hubung singkat yang hasilnya digunakan sebagai masukan untuk program estimasi lokasi gangguan.

Dari simulasi terlihat bahwa metoda estimasi lokasi gangguan dengan memperhitungkan arus dan tegangan pada kedua terminal memperoleh hasil yang cukup baik. Hasil estimasi lokasi gangguan menjadi lebih teliti dengan memasukkan pengaruh kapasitansi dalam proses perhitungan, hal ini terlihat dengan penurunan persentase error pada semua kondisi gangguan hubung singkat yang disimulasikan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan limpahan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

METODE PENENTUAN LOKASI GANGGUAN BERDASARKAN DATA PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS PADA DUA TERMINAL.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata (S1) pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam menyusun tugas akhir ini penulis telah berusaha untuk dapat menghasilkan karya terbaik, namun penulis merasa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Walaupun demikian, harapan penulis semoga buku tugas akhir ini dapat berguna untuk menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, September 1996

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ir. Sidarjanto selaku dosen pembimbing I, yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
2. Ir. Margo Pujiantara MT. selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan, dan koreksi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ir. Teguh Yuwono dan Ir. Soetikno selaku Dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro FTI ITS.
4. Semua dosen di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang selama ini telah mendidik dan mengajar penulis.
5. Maria Goreti N.T. untuk segala dukungan moril, motivasi, dan doa buat penulis selama ini.
6. Arek-arek LAB PKDST yang telah banyak memberikan bantuan dan fasilitas dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
7. Arek-arek E-31 untuk semua yang telah dialami bersama penulis.
8. Kawan-kawan seperjuangan, Agusta, Triono, Kadek, Didit, Rahman, dan Ginaryo untuk segala dukungannya.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. TUJUAN PENELITIAN	3
1.3. PERUMUSAN MASALAH	4
1.4. PEMBATAAN MASALAH	6
BAB II GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI	
DAN RELE PENGAMAN	7
2.1. GANGGUAN-GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI	7
2.2. KOMPONEN-KOMPONEN SIMETRI	8
2.2.1. Ketidaksimetrisan Fasor Sistem Tiga Fasa	8
2.3. GANGGUAN HUBUNG SINGKAT	12
2.3.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	13

2.3.2. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah	14
2.3.3. Gangguan Hubung Singkat Fasa Ke Fasa	16
2.3.4. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah	18
2.4. PROTEKSI SALURAN TRANSMISI	21
2.5. KONSTRUKSI RELE JARAK	22
2.5.1. Rele Digital	23
2.6. KARAKTERISTIK RELE JARAK	24
2.6.1. Rele Sebagai Pembanding	25
2.6.2. Persamaan Umum Rele	25
2.7. JENIS-JENIS RELE JARAK	26
2.7.1. Rele Impedansi	27
2.7.2. Rele Reaktansi	29
2.7.3. Rele Admitansi	31
2.8. PENYETELAN RELE JARAK	32
2.8.1. Penyetelan Zone-1	33
2.8.2. Penyetelan Zone-2	34
2.8.3. Penyetelan Zone-3	35
2.9. PENGARUH TAHANAN BUSUR	36
BAB III ALGORITMA PENENTUAN LOKASI GANGGUAN	
HUBUNG SINGKAT	38
3.1. ALGORITMA HUBUNG SINGKAT	38
3.1.1. Pembentukan Matriks Admitansi Bus	39

3.1.2. Persamaan Arus Dan Tegangan Saat Gangguan	40
3.2. ALGORITMA PENENTUAN LOKASI GANGGUAN	45
3.2.1. Estimasi Lokasi Gangguan Fasa Ke Tanah	46
3.2.2. Estimasi Lokasi Gangguan Fasa Ke Fasa	48
3.2.3. Estimasi Lokasi Gangguan Dua Fasa Ke Tanah	51
3.2.4. Estimasi Lokasi Gangguan Tiga Fasa	53
3.3. EFEK KAPASITANSI SALURAN	54
BAB IV PENERAPAN ALGORITMA METODA PENENTUAN	
LOKASI GANGGUAN	58
4.1. PENERAPAN ALGORITMA ESTIMASI LOKASI	
GANGGUAN	58
4.2. DATA SISTEM UNTUK PENERAPAN PROGRAM	64
4.3. HASIL PERHITUNGAN SIMULASI GANGGUAN HUBUNG	
SINGKAT DAN ESTIMASI LOKASI GANGGUAN	66
BAB V PENUTUP	91
5.1. KESIMPULAN	91
5.2. SARAN	91

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
1.1 Diagram satu garis suatu sistem tenaga dengan model phi yang mengalami gangguan di titik F	5
2.1 Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen komponen simetris dari tiga fasor tak seimbang	9
2.2 Hubung singkat tiga fasa	13
2.3 Hubungan jala-jala urutan positif untuk hubung singkat tiga fasa	14
2.4 Hubung singkat satu fasa ke tanah	15
2.5 Hubungan jala-jala urutan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah	16
2.6 Hubung singkat fasa ke fasa	16
2.7 Hubungan jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke fasa	18
2.8 Hubung singkat dua fasa ke tanah	18
2.9 Hubungan jala-jala urutan untuk hubung singkat dua fasa ke tanah	20
2.10 Skema diagram sistem rele digital	23
2.11 Karakteristik rele impedansi	27
2.12 Karakteristik rele impedansi dengan unit arah	29
2.13 Karakteristik rele reaktansi	30
2.14 Karakteristik rele admitansi	31

GAMBAR	HALAMAN
2.15 Karakteristik rele reaktansi dengan unit arah	32
2.16 Sistem proteksi jarak dengan tiga zone	33
2.17 Pengaruh tahanan busur pada operasi rele impedansi	37
3.1 Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah	46
3.2 Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke fasa	49
3.3 Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat dua fasa ke tanah	52
3.4 Diagram jala-jala urutan positif untuk hubung singkat tiga fasa	53
3.5 Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke tanah dengan memperhitungkan efek kapasitansi	56
4.1 Diagram segaris dua sumber melalui saluran transmisi 500 KV	59
4.2 Diagram alir untuk estimasi hubung singkat satu fasa ke tanah	60
4.3 Diagram alir untuk estimasi hubung singkat fasa ke fasa	61
4.4 Diagram alir untuk estimasi hubung singkat dua fasa ke tanah	62
4.5 Diagram alir untuk estimasi hubung singkat tiga fasa simetri	63
4.6 Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	75
4.7 Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	75
4.8 Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	76
4.9 Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	76
4.10 Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	77

GAMBAR**HALAMAN**

4.11 Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	77
4.12 Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	78
4.13 Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	78
4.14 Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	79
4.15 Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	79
4.16 Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	80
4.17 Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	80
4.18 Hubung singkat tiga fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 0.25 \text{ ohm}$	81
4.19 Hubung singkat tiga fasa dengan kapasitansi, $R_f = 0.25 \text{ ohm}$	81
4.20 Hubung singkat tiga fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 0.50 \text{ ohm}$	82
4.21 Hubung singkat tiga fasa dengan kapasitansi, $R_f = 0.50 \text{ ohm}$	82
4.22 Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	83
4.23 Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	83
4.24 Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	84
4.25 Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	84
4.26 Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	85
4.27 Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	85
4.28 Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	86
4.29 Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	86
4.30 Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	87
4.31 Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$	87

GAMBAR**HALAMAN**

4.32 Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	88
4.33 Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$	88
4.34 Hubung singkat tiga fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 0.25 \text{ ohm}$	89
4.35 Hubung singkat tiga fasa dengan kapasitansi, $R_f = 0.25 \text{ ohm}$	89
4.36 Hubung singkat tiga fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 0.50 \text{ ohm}$	90
4.37 Hubung singkat tiga fasa dengan kapasitansi, $R_f = 0.50 \text{ ohm}$	90

DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
4.1 Hasil pengukuran rele untuk masukan program estimasi lokasi gangguan	64
4.2 Harga-harga dasar pada sistem pengujian	64
4.3 Data impedansi saluran transmisi	64
4.4 Data admitansi saluran transmisi	65
4.5 Data sumber	65
4.6 Data beban	65
4.7 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 2, $R_f=2$ ohm	66
4.8 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 2, $R_f=4$ ohm	66
4.9 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 2, $R_f=2$ ohm	67
4.10 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 2, $R_f=4$ ohm	67
4.11 Hasil estimasi lokasi gangguan dua fasa ke tanah dari bus 2, $R_f = 2$ ohm	68
4.12 Hasil estimasi lokasi gangguan dua fasa ke tanah dari bus 2, $R_f = 4$ ohm	68
4.13 Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 2, $R_f=0.25$ ohm	69
4.14 Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 2, $R_f=0.50$ ohm	69
4.15 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 3, $R_f=2$ ohm	70
4.16 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 3, $R_f=4$ ohm	70
4.17 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 3, $R_f=2$ ohm	71

TABEL**HALAMAN**

4.18 Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 3, $R_f=4$ ohm	71
4.19 Hasil estimasi lokasi gangguan dua fasa ke tanah dari bus 3, $R_f = 2$ ohm	72
4.20 Hasil estimasi lokasi gangguan dua fasa ke tanah dari bus 3, $R_f = 4$ ohm	72
4.21 Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 3, $R_f=0.25$ ohm	73
4.22 Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 3, $R_f=0.50$ ohm	73

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang	Keterangan
Va	Tegangan fasa a
Vb	Tegangan fasa b
Vc	Tegangan fasa c
Va1	Tegangan fasa a urutan positif
Va2	Tegangan fasa a urutan negatif
Va0	Tegangan fasa a urutan nol
Vb1	Tegangan fasa b urutan positif
Vb2	Tegangan fasa b urutan negatif
Vb0	Tegangan fasa b urutan nol
Vc1	Tegangan fasa c urutan positif
Vc2	Tegangan fasa c urutan negatif
Vc0	Tegangan fasa c urutan nol
a	Operator yang menyebabkan perputaran sebesar 120^0 berlawanan dengan arah jarum jam
a ²	Operator yang menyebabkan perputaran sebesar 240^0 berlawanan dengan arah jarum jam
a ³	Operaror yang menyebabkan perputaran sebesar 360^0 berlawanan dengan arah jarum jam
Ia	Arus fasa a
Ib	Arus fasa b
Ic	Arus fasa c

Lambang	Keterangan
I_n	Arus fasa netral
V_f	Tegangan gangguan
Z_f	Impedansi gangguan
Z_g	Impedansi tanah
Z_1	Impedansi urutan positif
Z_2	Impedansi urutan negatif
Z_0	Impedansi urutan nol
F	Titik gangguan
Z	Impedansi
Y	Admitansi
LPF	Low Pass Filter
CPU	Central Processing Unit
A/D	Analog to Digital
R_f	Tahanan gangguan
V_{1g1}	Tegangan fasa a dari generator 1
Z_{1g1}	Impedansi urutan positif generator 1
V_{1x}	Tegangan gangguan fasa a urutan positif dari bus x
I_{1xf}	Tegangan gangguan fasa a urutan positif dari bus x
Z_{1xf}	Impedansi gangguan urutan positif dari bus x
V_{1f}	Tegangan gangguan fasa a urutan positif
I_{1f}	Arus gangguan fasa a urutan positif

Lambang	Keterangan
I_{1cx}	Arus kapasitansi fasa a urutan positif dari bus x
I_{2cx}	Arus kapasitansi fasa a urutan negatif dari bus x
I_{0cx}	Arus kapasitansi fasa a urutan nol dari bus x
V_{ax}	Tegangan fasa a dari bus x
V_{ay}	Tegangan fasa a dari bus y
I_{axf}	Arus saluran fasa a dari bus x
I_{ayf}	Arus saluran fasa a dari bus y

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Saluran transmisi tenaga listrik tidak dapat terlepas dari gangguan hubung singkat, baik gangguan hubung singkat antar fasa maupun gangguan hubung singkat fasa dengan tanah. Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi umumnya dapat mengakibatkan kerusakan mekanis pada peralatan-peralatan listrik yang terhubung dengan sistem yang sedang mengalami gangguan tersebut. Dengan demikian perlu adanya sistem proteksi yang dapat mengurangi akibat dari gangguan hubung singkat tersebut. Disamping itu juga dibutuhkan suatu peralatan yang dapat mendeteksi lokasi gangguan guna mempercepat proses perbaikan terutama bila gangguan bersifat permanen.

Pada umumnya proteksi saluran transmisi tenaga listrik kebanyakan menggunakan sistem proteksi dengan rele jarak sehingga sering disebut dengan sistem proteksi jarak. Salah satu jenis rele jarak tersebut adalah rele impedansi. Rele jarak dapat memberikan indikasi daerah dimana gangguan hubung singkat terjadi tetapi rele jarak tidak dirancang untuk menentukan letak gangguan hubung singkat secara tepat. Dengan memanfaatkan hasil pengukuran rele impedansi digital, yaitu terdiri dari arus, tegangan dan impedansi yang dilihat dari lokasi rele

terhadap titik gangguan, maka disini akan dibahas mengenai suatu metoda untuk mengestimasi lokasi gangguan secara tepat.

Para peneliti terdahulu telah mengembangkan metoda-teknik penentuan lokasi gangguan hubung singkat yang pada dasarnya menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz pada terminal yang terhubung dengan saluran yang mengalami gangguan hubung singkat. Metoda ini dapat diklasifikasikan dalam dua katagori yaitu:

1. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada salah satu terminal yang terhubung dengan saluran yang mengalami gangguan hubung singkat.
2. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada kedua sisi terminal yang menghubungkan saluran yang mengalami gangguan hubung singkat.

Metoda estimasi lokasi gangguan tipe 1 ini dapat digunakan dengan asumsi bahwa sumber tegangan hanya berasal dari satu terminal, sehingga dengan demikian metoda ini tidak sesuai untuk mengestimasi lokasi gangguan apabila arus gangguan berasal dari dua buah terminal. Metoda estimasi tipe 1 ini telah dikembangkan oleh TAKAGI AT ALL beserta ERIKSSON AT ALL , dimana mereka menggunakan data arus sebelum dan saat gangguan serta data tegangan pada saat gangguan terjadi yang diukur pada satu terminal. Mereka juga menggunakan faktor distribusi arus dimana faktor ini mencakup impedansi sumber. Dalam prakteknya impedansi sumber ini tidak dapat diperoleh dengan mudah karena adanya kemungkinan perobahan konfigurasi sistem. Dengan demikian

faktor tersebut harus terlebih dahulu dihitung setiap proses estimasi yang berlangsung, atau setidaknya dicek terlebih dulu.

RICHARDS and TAN juga telah mengembangkan tipe 1 ini dengan metode iteratif tetapi metode ini sangat sensitif terhadap tahanan gangguan, terutama bila arus gangguan mengalir dari kedua terminal yang menghubungkan saluran yang terganggu. Dalam tugas akhir ini akan dibahas suatu metoda estimasi lokasi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dengan metode tipe 2

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini secara umum adalah untuk mempelajari metoda estimasi lokasi gangguan hubung singkat dengan metoda pengukuran arus dan tegangan pada kedua sisi terminal yang menghubungkan saluran yang terganggu. Dari pengukuran arus dan tegangan ini, impedansi antara titik pengukuran terhadap titik gangguan dapat diperoleh berdasarkan perbandingan tegangan dan arus pada masing-masing terminal. Pengukuran tersebut dapat diperoleh dengan memanfaatkan rele impedansi digital yang terpasang pada masing-masing terminal.

Sedangkan manfaat dari estimasi lokasi gangguan ini adalah untuk mempercepat proses perbaikan bila terjadi gangguan hubung singkat terutama bila gangguan bersifat permanen.

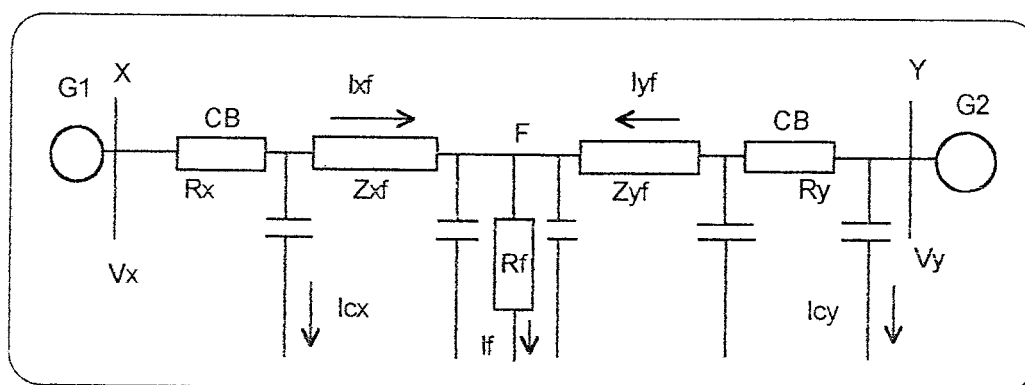
1.3. PERUMUSAN MASALAH

Metoda estimasi lokasi gangguan hubung singkat yang didasarkan atas pengukuran arus dan tegangan pada dua terminal, pada tugas akhir ini akan dilakukan dengan cara mengestimasi lokasi gangguan pada saluran transmisi berdasarkan besarnya impedansi kompleks yang diukur dilihat dari titik pengukuran terhadap titik gangguan. Kemudian impedansi tersebut dapat dikonversikan ke dalam jarak. Karena pengukuran impedansi pada model ini sangat peka terhadap tahanan gangguan, maka hasil konversi impedansi ke dalam jarak tidak akan memperoleh hasil yang akurat. Hal ini akan semakin kelihatan pada gangguan tanah terutama pada sistem pentanahan kaki menara yang buruk. Untuk mengatasi permasalahan ini, maka akan digunakan metoda penentuan lokasi gangguan dengan memanfaatkan hasil pengukuran impedansi tersebut menggunakan model saluran dengan parameter terpadu.

Pada model ini saluran transmisi digambarkan sebagai suatu impedansi seri dan kapasitansi shunt yang terpusat pada kedua ujung saluran. Model ini dapat dikategorikan atas model Φ ekivalen dan T ekivalen. Mengingat pengukuran yang dilakukan pada kedua terminal, sehingga arus yang menuju gangguan juga berasal dari kedua terminal maka model yang digunakan untuk analisa adalah model Φ , dengan asumsi bahwa kapasitansi saluran terpusat pada kedua ujung terminal.

Rele impedansi dapat bekerja secara normal, bila panjang saluran yang diproteksinya sebanding dengan tegangan transmisi, dan dinyatakan bahwa rele

impedansi pada umumnya mempunyai daerah operasi pada saluran menengah. Jadi bila rele impedansi digunakan pada saluran panjang, maka di sepanjang saluran harus ada terminal-terminal tempat pemasangan rele. Setiap terminal diberi jarak dengan tingkat menengah, dengan demikian model yang digunakan untuk menunjukkan bagian-bagian saluran tersebut dapat menggunakan model Phi. Pengukuran impedansi gangguan dapat diperoleh dengan cara memanfaatkan rele-rele impedansi digital yang telah dipasangkan pada kedua terminal saluran yang terganggu seperti pada diagram dibawah ini.



Gambar 1.1. *Diagram satu garis suatu sistem tenaga dengan model Phi yang mengalami gangguan di titik F.¹*

Keterangan:

$G1, G2$ = Generator

R_x, R_y = Rele impedansi

C.B = Pemutus tenaga

¹ Berlin Saragih, Metode Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Tegangan dan Arus Pengukuran Rele Impedansi Digital, Institut Teknologi Bandung, hal. 6

1.4. PEMBATAAN MASALAH

Metoda estimasi lokasi gangguan ini dibahas dengan beberapa asumsi sebagai berikut:

- Sebelum gangguan terjadi sistem dalam keadaan seimbang.
- Pengetesan metoda estimasi lokasi gangguan ini dilakukan pada saluran tunggal.
- Arus dan tegangan yang diukur adalah dalam frekuensi 50 Hz atau 60 Hz.
- Gangguan yang terjadi hanya pada satu titik.
- Untuk perhitungan sebelum gangguan, beban daya dianggap konstan.
- Karena sulit untuk mendapatkan data gangguan secara langsung, maka untuk pengujian metoda penentuan lokasi gangguan ini, rele impedansi digital disimulasikan dalam bentuk program komputer berdasarkan studi hubungan singkat yang hasilnya dibuat sebagai masukan bagi program estimasi lokasi gangguan.

Pengujian metoda estimasi gangguan ini akan dilakukan dengan menggunakan sistem tenaga yang datanya diperoleh dari standart IEEE.



BAB II

GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI DAN RELE PENGAMAN

2.1. GANGGUAN-GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI

Gangguan pada saluran transmisi dapat berupa gangguan arus lebih atau gangguan tegangan lebih. Gangguan tegangan lebih dapat disebabkan oleh gangguan petir yang berupa sambaran petir, atau gangguan surja hubung yang berupa penutupan atau pembukaan saluran yang tak serempak, pelepasan beban, dan switching dari transformator.

Gangguan arus lebih disebabkan oleh terjadinya hubung singkat. Gangguan ini menimbulkan kenaikan arus pada saluran yang terganggu. Kenaikan arus yang melebihi batas yang ditentukan merupakan suatu keadaan yang tidak boleh dibiarkan.

Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi bila tidak segera dipulihkan dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan saluran transmisi maupun mengganggu kestabilan sistem. Pengamanan pada saluran transmisi biasanya didasarkan pada gangguan hubung singkat, seperti pengaman jarak.

Gangguan hubung singkat dapat dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu:

- a. Gangguan tiga fasa .
- b. Gangguan satu fasa ke tanah .

c. Gangguan fasa ke fasa.

d. Gangguan dua fasa ke tanah.

Gangguan tiga fasa merupakan gangguan simetris. Selain gangguan tiga fasa, gangguan lainnya merupakan gangguan tidak simetris. Pembahasan gangguan tidak simetris didasarkan pada komponen-komponen simetris.

2.2. KOMPONEN-KOMPONEN SIMETRIS

2.2.1. Ketidaksimetrisan Fasor Sistem Tiga Fasa

Penemuan Fortescue membuktikan bahwa suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari n buah fasor yang berhubungan (related) dapat diuraikan menjadi n buah sistem dengan fasor seimbang yang dinamakan *komponen-komponen simetris* (*symmetrical components*) dari fasor aslinya. n buah fasor pada setiap himpunan komponennya adalah sama panjang, dan sudut diantara fasor yang bersebelahan sama besar.

Teorema Fortescue mengatakan bahwa tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasor yang seimbang. Komponen-komponen simetris itu adalah :

1. Komponen urutan positif (positive sequence components) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu sama lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya. Diberi tanda dengan subskrip 1.
2. Komponen urutan negatif (negative sequence components) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu sama lainnya dalam fasa sebesar 120° ,

dan mempunyai urutan fasor yang berlawanan dengan fasor aslinya. Diberi tanda dengan subskrip 2.

3. Komponen urutan nol (zero sequence components) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan penggeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain. Diberi tanda dengan subskrip 0.

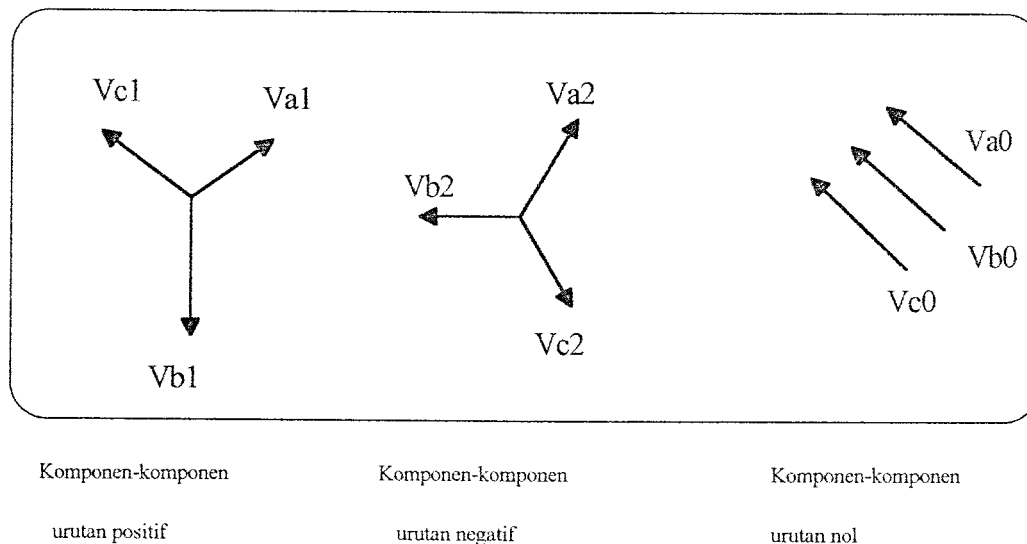
Ketiga sistem fasa itu bila dinyatakan dalam suku-suku komponennya adalah :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2-1)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

Komponen-komponen tersebut diatas dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak seimbang.

Karena setiap fasor yang tidak seimbang merupakan penjumlahan vektor dari komponen-komponennya, maka fasor-fasor aslinya dapat dinyatakan dalam komponen-komponennya sebagai berikut :

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ$$

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (2-2)$$

Sehingga dengan memasukkan persamaan (2-2) pada persamaan (2-1)

didapatkan :

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \end{aligned} \quad (2-3)$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

atau dalam bentuk matrik :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

dan A sebagai matrik transformasi yang besarnya adalah :

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

dapat diperoleh matrik transpose dari matrik A,

$$[A^{-1}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

Sehingga dengan mengalikan kedua sisi kanan persamaan (2-4) dengan matrik A^{-1}

diperoleh :

$$\begin{aligned} V_{a0} &= \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \\ V_{a1} &= \frac{1}{3} (V_a + a V_b + a^2 V_c) \end{aligned} \quad (2-7)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2 V_b + a V_c)$$

atau,

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

Sehingga,

$$[V_{abc}] = [A] [V_{012}] \quad (2-9)$$

dan

$$[V_{012}] = [A]^{-1} [V_{abc}] \quad (2-10)$$

$$[V_{abc}] = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2-11)$$

$$[V_{012}] = \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

Bentuk persamaan-persamaan diatas juga berlaku untuk arus fasa dan arus urutan.

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

atau

$$[I_{abc}] = [A] [I_{012}] \quad (2-15)$$

dan

$$[I_{012}] = [A]^{-1} [I_{abc}] \quad (2-16)$$

2.3. GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

Seperti yang telah disebutkan, gangguan-gangguan hubung singkat merupakan gangguan tak seimbang, kecuali gangguan tiga fasa. Biasanya gangguan tiga fasa mengakibatkan arus gangguan yang sangat besar, terbesar dari arus-arus gangguan jenis yang lain. Tetapi dapat juga terjadi arus gangguan satu fasa ke tanah lebih besar dari pada arus gangguan tiga fasa. Hal ini dapat terjadi bila titik gangguan terjadi di dekat generator yang netralnya ditanahkan langsung.

Arus gangguan ini diperoleh berdasarkan teori Thevenin, dimana impedansi Theveninnya dapat dicari dengan berbagai metoda, dalam penelitian ini digunakan metoda impedansi bus.

Secara umum tanpa memandang jenis gangguannya, gangguan hubung singkat mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{a1} &= V_f - Z_1 I_{a1} \\ V_{a2} &= - Z_2 I_{a2} \\ V_{a0} &= - Z_0 I_{a0} \end{aligned} \quad (2-17)$$

dimana

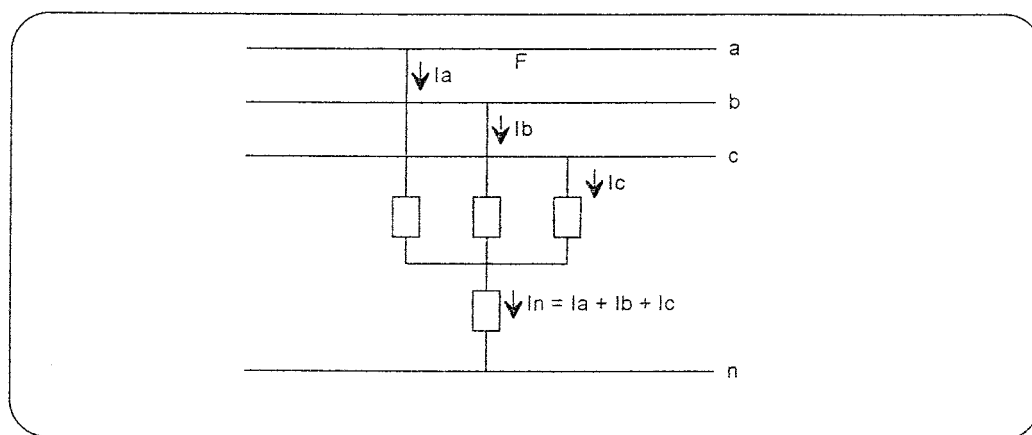
Fasa a selalu diambil sebagai referensi.

V_f = Tegangan titik gangguan pada keadaan normal (1 pu).

Z_1, Z_2, Z_0 = Impedansi urutan positif, negatif dan nol ditinjau dari titik gangguan.

2.3.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Pada umumnya gangguan 3 fasa adalah gangguan seimbang, tetapi dapat juga dianalisa dengan teori komponen simetris. Gambar 2.2 memperlihatkan gangguan 3 fasa yang terjadi di titik F, dengan impedansi busur Z_f dan impedansi tanah Z_g . Gambar 2.3 memperlihatkan urutan jala-jala.



Gambar 2.2. Hubung singkat tiga fasa

Persamaan keadaan :

$$V_a - V_b = 0 \quad (2-18)$$

$$V_a - V_c = 0 \quad (2-19)$$

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2-20)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan ini ke dalam persamaan (2-6), (2-14), dan (2-17) diperoleh :

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) = V_a$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) = 0$$

$$V_{a2} = V_{a1} = 0$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = I_a$$

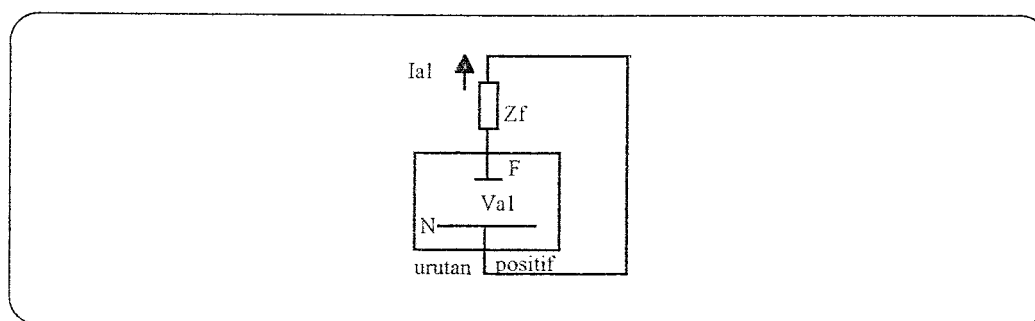
$$I_{a2} = I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$$

Karena impedansi busur Z_f tidak dapat diabaikan, maka arus gangguan I_f dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_f)$$

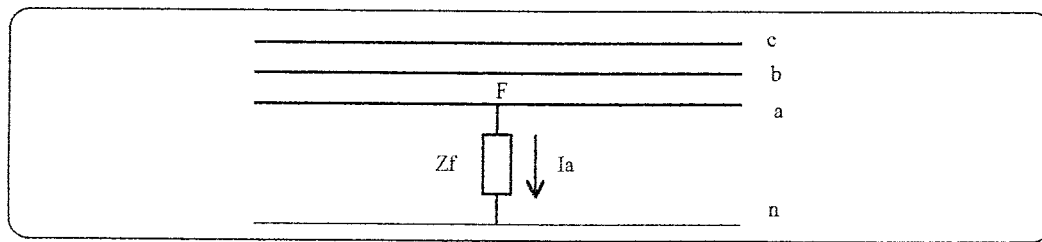
$$I_f = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_f)} \quad (2.21)$$



Gambar 2.3. Hubungan jala-jala urutan positif untuk hubung singkat tiga fasa.

2.3.2. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ini merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada saluran transmisi. Gambar 2.4 memperlihatkan gangguan satu fasa ke tanah pada titik F, dengan impedansi gangguan Z_f . Impedansi Z_f ini bisa terdiri dari tahanan busur menara, dan kaki menara saluran transmisi. Gambar 2.5 memperlihatkan hubungan jala-jala. Untuk analisa dimisalkan gangguan terjadi pada fasa a ke tanah.



Gambar 2.4. *Hubung singkat satu fasa ke tanah*

Persamaan keadaan :

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$V_a = I_a Z_f$$

Dengan mensubstitusikan persamaan ini ke dalam persamaan (2-6), (2-14), dan (2-17) diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (2-22)$$

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}) Z_f \\ &= 3I_{a1} Z_f \end{aligned}$$

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_1) + (V_{a2} - I_{a2} Z_2) + (V_{a0} - I_{a0} Z_0) = 0 \quad (2-23)$$

$$V_{a1} = -V_{a2} - V_{a0} + 3I_{a1} Z_f$$

$$V_f - I_{a1} Z_1 = I_{a1} Z_2 + I_{a1} Z_0 + 3I_{a1} Z_f$$

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f)}$$

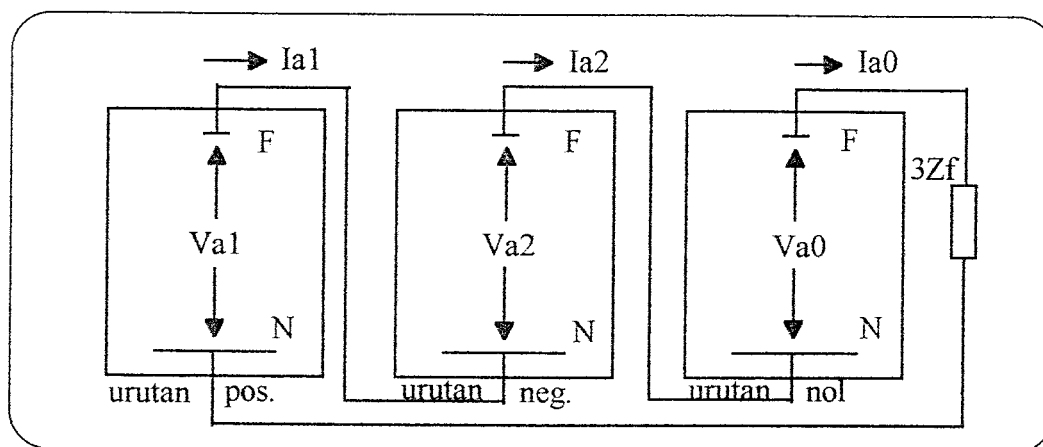
$$I_{a2} = I_{a1}$$

$$I_{a0} = I_{a1}$$

Dengan demikian arus gangguan dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$I_f = 3I_{a1} = \frac{3V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f)}$$

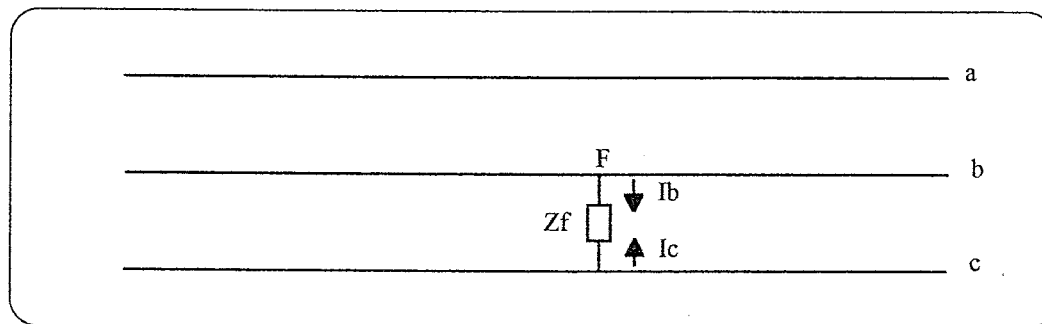
Berdasarkan persamaan (2-22) dan (2-23), hubungan jala-jala urutannya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5. Hubungan jala-jala urutan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah

2.3.3. Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Gangguan fasa ke fasa pada saluran transmisi terjadi umumnya bila dua kawat fasa bersentuhan. Gambar 2.6 menunjukkan gangguan fasa ke fasa pada titik F dengan impedansi gangguan Z_f . Gambar 2.7 menunjukkan hubungan jala-jala gangguan ini.



Gambar 2.6. Hubung singkat fasa ke fasa.

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

$$V_b - V_c = I_b Z_f$$

Persamaan ini disubstitusikan kedalam persamaan (2-6), (2-14), dan (2-17) akan didapat persamaan-persamaan berikut :

$$I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} = -I_{a2}$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) V_{a1} - (a^2 - a) V_{a2} = (a^2 - a) I_{a1} Z_f$$

(2-24)

atau

$$V_{a1} - V_{a2} = I_{a1} Z_f$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a1} Z_f$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a1} \left(\frac{Z_f}{2} + \frac{Z_f}{2} \right)$$

$$V_{a1} - I_{a1} \left(\frac{Z_f}{2} \right) = V_{a2} - I_{a2} \left(\frac{Z_f}{2} \right)$$

(2-25)

$$V_{a0} = 0$$

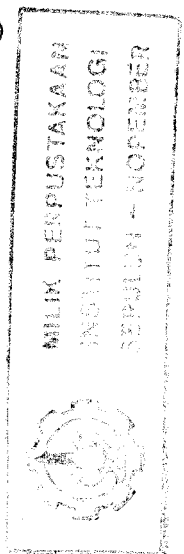
$$V_{a1} = V_f - I_{a1} Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2} Z_2$$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_f)}$$

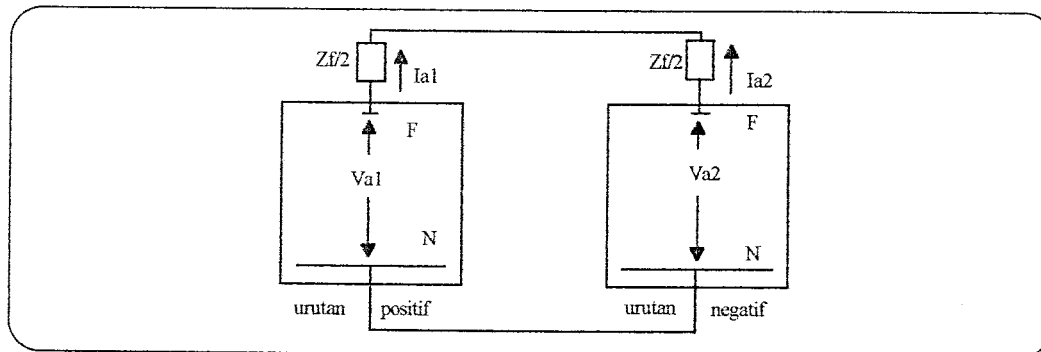
Sehingga arus gangguan adalah :

$$\begin{aligned} I_f = I_b &= a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \\ &= (a^2 - a) I_{a1} \end{aligned}$$



$$= -j \sqrt{\frac{3V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_f)}} \quad (2-26)$$

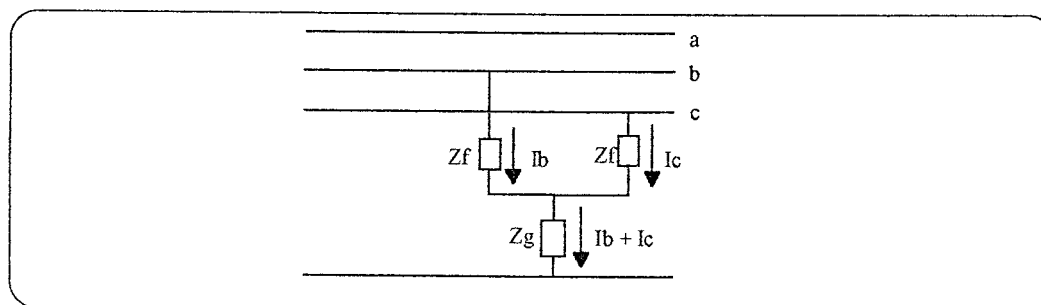
Berdasarkan persamaan (2-24) dan (2-25), hubungan jala-jala urutannya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.7. Hubungan jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke fasa

2.3.4. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah pada saluran transmisi, terjadi jika dua kawat terhubung dengan tanah atau dengan netral sistem tiga fasa. Gambar 2.8 menunjukkan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah melalui impedansi gangguan Z_f dan Z_g . Impedansi Z_f merupakan tahanan busur sedangkan impedansi Z_g terdiri dari tahanan menara dan tahanan kaki menara. Gambar 2.9 menunjukkan hubungan jala-jala urutan pada gangguan jenis ini.



Gambar 2.8. Hubung singkat dua fasa ke tanah

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0$$

$$V_b = I_b Z_f + (I_b + I_c) Z_g$$

$$V_c = I_c Z_f + (I_b + I_c) Z_g$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan ini ke dalam persamaan (2-6), (2-14), dan (2-17) didapat :

$$I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0 \quad (2-27)$$

$$a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} = (a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}) + (I_b + I_c) Z_g \quad (2-28)$$

$$a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} = (a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}) + (I_b + I_c) Z_g \quad (2-29)$$

persamaan (2-28) dikurangi persamaan (2-29) :

$$(a^2 - a) V_{a1} + (a - a^2) V_{a2} = (a^2 - a) I_{a1} Z_f + (a - a^2) I_{a2} Z_f$$

atau,

$$V_{a1} - I_{a1} Z_f = V_{a2} - I_{a2} Z_f \quad (2-30)$$

persamaan (2-28) ditambah persamaan (2-29) :

$$-V_{a1} - V_{a2} + 2V_{a0} = -I_{a1} Z_f - I_{a2} Z_f + 2(I_{a0} Z_f + (I_b + I_c) Z_g)$$

atau

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_f) + (V_{a2} - I_{a2} Z_f) = 2(V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g))$$

Dari persamaan (2-30) diperoleh :

$$2(V_{a1} - I_{a1} Z_f) = 2(V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g))$$

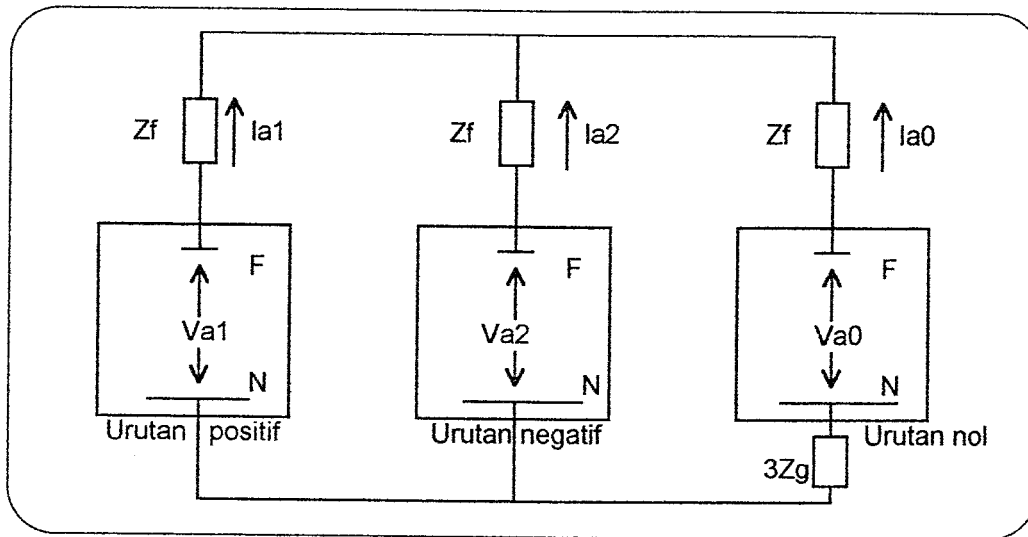
Jadi :

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_f) = (V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2-31)$$

Dari persamaan (2-30) dan (2-31) :

$$(V_{a1} - I_{a1} Z_f) = (V_{a1} - I_{a1} Z_f) = (V_{a0} - I_{a0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2-32)$$

Berdasarkan persamaan (2-27) dan (2-32), jala-jala urutannya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.9. Hubungan jala-jala urutan untuk hubung singkat dua fasa ke tanah

Selanjutnya berdasarkan gambar 2.9, arus-arus dan tegangan-tegangan urutannya dapat diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{(Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g)}}$$

atau

$$I_{a1} = V_f \cdot Z_q / Z_t \quad (2-32)$$

$$I_{a2} = -I_{a1}(Z_0 + Z_f + 3Z_g)/Z_q \quad (2-33)$$

$$I_{a0} = -I_{a1}(Z_2 + Z_f)/Z_q \quad (2-34)$$

dengan,

$$Z_t = (Z_1 + Z_f)(Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)$$

$$Z_q = Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g$$

Dengan demikian arus pada titik gangguan dapat diperoleh:

$$I_f = I_b + I_c = 3I_{a0} \quad (2-35)$$

dan tegangan-tegangan urutannya sesuai dengan persamaan umum untuk semua jenis gangguan hubung singkat.

Dengan diketahuinya arus-arus dan tegangan urutan pada fasa referensi (fasa a) untuk berbagai jenis gangguan hubung singkat, maka arus-arus dan tegangan-tegangan pada titik gangguan baik untuk fasa yang terganggu maupun yang tidak terganggu, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-5) dan (2-13). Sementara arus-arus yang mengalir pada saluran serta besar tegangan pada titik lainnya akan dianalisa pada algoritma gangguan hubung singkat.

2.4. PROTEKSI SALURAN TRANSMISI

Proteksi saluran transmisi sering disebut proteksi jarak karena pada umumnya, sistem proteksinya menggunakan rele jarak sebagai rele utama. Secara sederhana rele jarak disebut sebagai rele-rele yang karakteristiknya merupakan fungsi perbandingan tegangan dan arus atau sebaliknya. Pendefinisian seperti ini didasarkan pada fungsi besaran yang dideteksi rele.

Rele jarak dirancang untuk mampu mendeteksi impedansi yang diukur dari lokasi rele itu sendiri terhadap titik gangguan. Impedansi tersebut adalah sebanding dengan jarak gangguan dan hal inilah yang membuat rele ini disebut sebagai rele jarak. Namun rele jarak tidak dapat mengukur jarak gangguan secara tepat karena impedansi yang diukur oleh rele tidaklah semata-mata hanya

impedansi saluran yang diproteksi, tetapi juga tercakup beberapa unsur-unsur lainnya seperti tahanan busur menara dan kaki menara.

2.5. KONSTRUKSI RELE JARAK

Berdasarkan konstruksinya, rele jarak dapat dibedakan atas dua kategori yaitu:

a. Rele elektromekanik

Rele elektromekanik beroperasi berdasarkan prinsip elektomagnetik ataupun elektrothermal. Dalam proses operasinya untuk pengukuran dan perbandingan input, dilakukan oleh rele sendiri dengan menyeimbangkan dua buah gaya maupun fluksi magnetik. Kontak-kontak akan bergerak menutup atau membuka bila ketidakseimbangan terjadi pada kedua gaya tersebut.

b. Rele statik

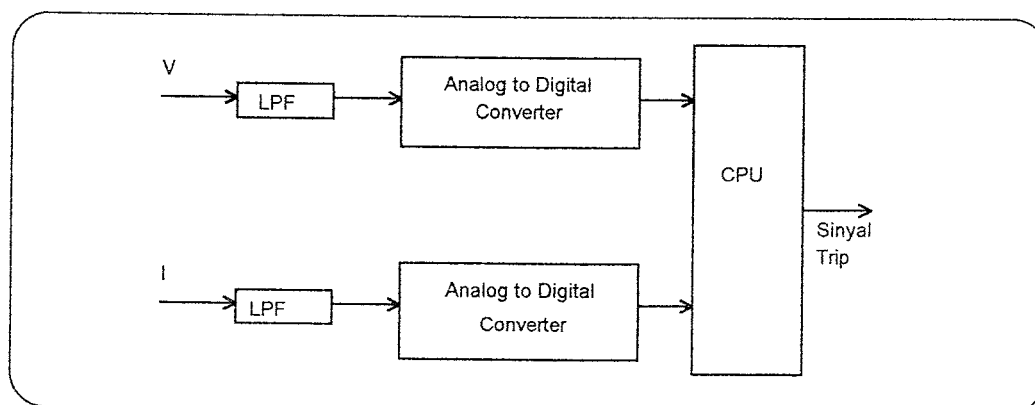
Rele statik beroperasi sebagai pembanding statis. Operasi pengukuran dan perbandingan input dilakukan di dalam rangkaian statis. Sebagai rele jarak, input ke pembanding terdiri dari arus dan tegangan yang berasal dari transformator arus dan transformator tegangan. komponen-komponen rele ini terdiri dari komponen statis seperti dioda, thyristor, transistor, resistor, kapasitor dan bahan statis lainnya. Karena kontak-kontak bekerja secara statis, sehingga tidak ada bagian yang bergerak pada rele jenis ini.

Dengan pesatnya kemajuan teknologi di bidang elektronika, rele statis memperoleh perhatian yang lebih besar dibanding dengan rele elektromekanik,

sehingga rele yang dulunya bekerja secara analog, dewasa ini telah dapat beroperasi secara digital yang dikontrol oleh komputer.

2.5.1. Rele Digital

Pada dasarnya suatu rele digital adalah merupakan rele statis yang dilengkapi dengan suatu konverter. Konverter dimaksud adalah alat yang digunakan untuk mengkonversikan sistem analog ke sistem digital. Dalam tugas akhir ini tidak dibahas secara terperinci mengenai rele digital. Secara umum blok diagram suatu rele jarak digital digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.10. *Skema diagram sistem rele digital²*

Rele jarak bekerja berdasarkan perbandingan tegangan dan arus atau sebaliknya. Dengan demikian, input rele terdiri dari tegangan dan arus yang diambil dari transformator arus dan tegangan. Pada diagram diatas dapat dilihat, bahwa input yang masuk ke rele berupa arus dan tegangan akan diproses secara bertahap dengan langkah-langkah sebagai berikut:

² *ibid*, hal. 24

1. Saat terjadinya gangguan hubung singkat, komponen frekuensi transien yang cukup tinggi akan terjadi sehingga perlu diadakan filterisasi untuk memperoleh frekuensi sistem. Untuk ini digunakan suatu filter yang bersifat low pass filter (LPF).
2. Arus dan tegangan yang masih dalam bentuk analog dikonversikan kedalam bentuk digital melalui suatu A/D (analog to digital) converter.
3. Proses deteksi ada atau tidaknya gangguan akan dilakukan di CPU (central processing unit) dengan memanfaatkan data arus dan tegangan yang telah didigitasi.
4. Bila ternyata ada gangguan, CPU akan mengirim pesan ke alat pemutus tenaga melalui rangkaian tripping.

Rele digital diharapkan akan mempunyai keunggulan yang lebih dibandingkan dengan rele analog dalam sensitivitas terhadap gangguan, keandalan dan perawatan.

2.6. KARAKTERISTIK RELE JARAK

Pada dasarnya bila ditinjau dari karakteristiknya, rele jarak dapat dibedakan atas:

- a. Rele impedansi
- b. Rele reaktansi
- c. Rele admitansi

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, bahwa pada hakekatnya suatu rele mempunyai sifat sebagai pembanding baik itu sebagai pembanding fasa maupun amplitudo. Dengan demikian karakteristik suatu rele dapat diketahui dengan melihatnya sebagai suatu pembanding.

2.6.1. Rele Sebagai Pembanding

Pada umumnya tugas rele adalah mendeteksi perubahan antara keadaan normal dan tidak normal, kemudian mengirim sinyal bila terjadi keadaan tidak normal atau sering disebut gangguan. Rele mengusahakan tugas ini dengan mengukur suatu besaran input serta membandingkannya terhadap input lainnya ataupun terhadap besaran standart yang telah ditetapkan sebelumnya.

2.6.2. Persamaan Umum Rele

Umumnya rele mempunyai beberapa konstanta dan diantara konstanta tersebut, sedikitnya satu diantaranya mempunyai nilai nol dan dua dari konstanta ini mempunyai harga yang sama. Dengan demikian persamaan akan menjadi lebih sederhana. Sebagai contoh, jika input yang terdiri dari dua kuantitas, maka operasi rele dapat diduga dengan menggunakan persamaan torsi yang dihasilkan oleh kedua kuantitas tersebut pada kondisi ambang yaitu:

$$T = k_a |A|^2 - k_b |B|^2 + k_c |A| |B| \cos(\phi - \theta) - k_s = 0 \quad (2-36)$$

dimana

k_a, k_b, k_c : konstanta skalar

k_s : konstanta pengendalian

$|A|, |B|$: kuantitas yang akan dibandingkan

Φ : sudut fasa antara A dan B

θ : sudut karakteristik rele ($\theta = \Phi$ pada saat torsi maksimum)

Persamaan (2-36) dapat menggambarkan berbagai karakteristik lingkaran dan garis lurus untuk rele yang mempunyai dua buah input. Untuk rele dengan hanya satu input, harga k_s adalah terhingga dan digunakan sebagai indikator. Tetapi untuk rele dengan dua input, harga k_s sangat kecil dan dapat diabaikan.

Bila kedua input tersebut terdiri dari arus dan tegangan, yakni $A=I$ dan $B=V$ maka persamaan (2-36) menjadi:

$$k_a |I|^2 - k_b |V|^2 + k_c |V||I| \cos(\phi - \theta) - k_s = 0 \quad (2-37)$$

Untuk memperoleh karakteristik suatu rele, konstanta-konstanta harus ditentukan terlebih dulu. Sebagai contoh, karena rele yang akan dirancang mempunyai dua input, maka $k_s = 0$ kemudian konstanta-konstanta lainnya dapat ditentukan sesuai kebutuhan.

Persamaan (2-37) sangat sesuai bila digunakan untuk memperoleh karakteristik rele jarak, karena input untuk rele jenis ini terdiri dari arus dan tegangan. Penentuan berbagai karakter dasar rele jarak akan dibahas pada bab 2.7.

2.7. JENIS-JENIS RELE JARAK

Pada rele statik dapat dirancang berbagai karakteristik yang bersifat khusus, misalnya karakteristik lensa, quadrilateral, poligon dan lain-lain. Berikut ini akan dibahas mengenai rele-rele jarak yang mempunyai karakteristik yang umum dipakai dan merupakan karakteristik dasar rele jarak, yaitu rele impedansi, rele reaktansi dan rele admitansi.

2.7.1. Rele Impedansi

Torsi yang dihasilkan oleh arus akan diimbangi oleh torsi yang dihasilkan oleh tegangan. Berarti torsi positif dihasilkan oleh arus sedang torsi negatif dihasilkan oleh tegangan dan pada kondisi ambang torsi arus sama dengan torsi yang dihasilkan tegangan. Berdasarkan persamaan (2-37), karakteristik rele impedansi dapat ditentukan dengan terlebih dulu menentukan konstanta yang diperlukan yaitu

$$k_s = k_c = 0$$

persamaan (2-37) mejadi,

$$k_a |I|^2 - k_b |V|^2 = 0$$

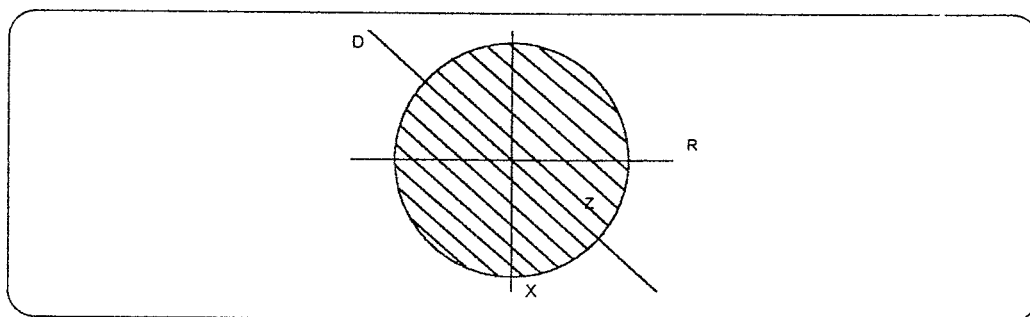
atau

$$|V/I|^2 = k_a/k_b$$

jadi

$$Z = \sqrt{k_a/k_b} = \text{konstan} \quad (2-38)$$

persamaan (2-38) merupakan suatu lingkaran dibidang kompleks dengan jari-jari Z dan pusatnya berada di titik koordinat. Berarti karakteristik rele jarak tidak dipengaruhi sudut fasa antara arus dan tegangan.



Gambar 2.11. Karakteristik rele impedansi

Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa rele akan bekerja bila impedansi yang diukur berada di dalam lingkaran dengan kata lain rele menghasilkan torsi

positif sedang diluar lingkaran menghasilkan torsi negatif dimana rele tidak bekerja. Dapat dilihat bahwa rele dapat bekerja mendeteksi gangguan yang terjadi di depan maupun di belakang rele, hal ini sangat tidak diinginkan dalam suatu sistem proteksi. Pada umumnya rele diinginkan beroperasi mendeteksi gangguan yang ada didepannya, maka untuk ini rele impedansi harus memiliki suatu unit rele arah sehingga rele tidak beroperasi bila gangguan yang terjadi berada di belakangnya. Karakteristik unit arah ini juga dapat diperoleh dari persamaan umum rele sebagaimana akan dijelaskan berikut ini.

Rele arah dapat beroperasi dengan adanya torsi yang dihasilkan oleh kedua arus dan tegangan. Berdasarkan persamaan (2-37), karakteristik ini dapat diperoleh dengan membuat konstanta-konstanta:

$$k_a = k_b = k_s = 0$$

persamaan (3-2) menjadi,

$$k_c |V| |I| \cos(\phi - \theta) = 0$$

dibagi dengan $k_c |I|^2$

$$|V/I| \cos(\phi - \theta) = 0$$

atau

$$Z \cos(\phi - \theta) = 0$$

karena V dan I tidak sama dengan nol, maka

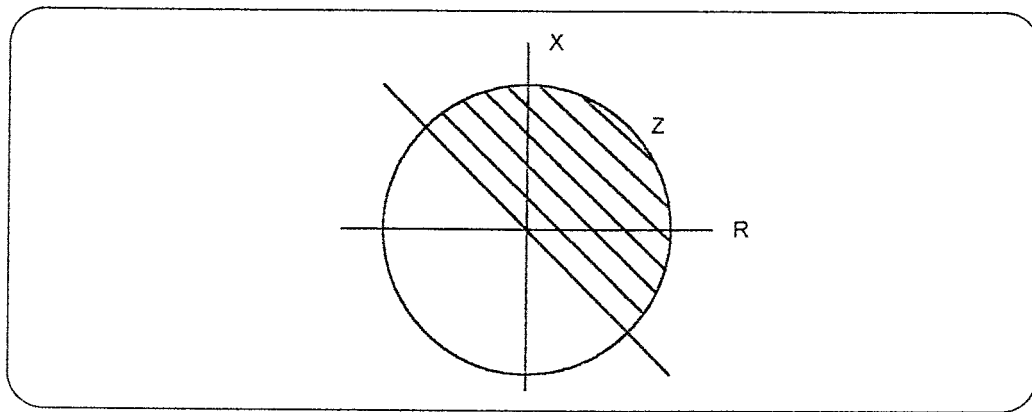
$$\cos(\phi - \theta) = 0$$

atau

$$(\phi - \theta) = \pm 90^\circ \quad (2-39)$$

Persamaan 2.39 menyatakan karakteristik rele arah dimana setiap vektor yang mempunyai jari-jari Z dan membentuk sudut $\pm 90^\circ$ terhadap garis torsi maksimum. Bila karakteristik ini digabungkan dengan karakteristik rele

impedansi, maka karakteristik rele berada pada setengah lingkaran dengan jari-jari Z sebagaimana digambarkan dibawah ini.



Gambar 2.12. Karakteristik rele impedansi dengan unit arah

2.7.2. Rele Reaktansi

Rele ini akan beroperasi dengan adanya torsi arus yang ditentang maupun didukung oleh rele arah. Bila rele ini bekerja dengan adanya torsi arus yang ditentang oleh unit arah, maka berdasarkan persamaan (2-37) dapat ditentukan konstanta-konstanta yang berharga nol sebagai berikut:

$$k_b = k_s = 0$$

persamaan (3-2) menjadi,

$$k_a |I|^2 - k_c |V| |I| \cos(\phi - \theta) = 0$$

bila $\phi = 90^\circ$ maka persamaan menjadi,

$$k_a |I|^2 - k_c |V| |I| \sin \theta = 0$$

dibagi dengan $k_c |I|^2$ persamaan menjadi,

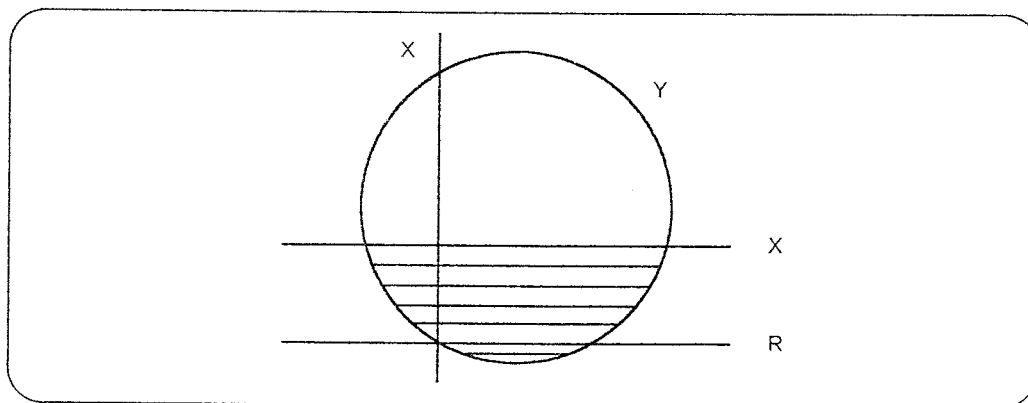
$$k_a/k_c - |V/I| \sin \theta = 0$$

atau

$$Z \sin \theta = k_a/k_c = \text{konstan}$$

$$X = k_a/k_c \quad (2-40)$$

persamaan (2-40) menyatakan karakteristik rele reaktansi, bila digambarkan dalam diagram R-X, maka rele ini mempunyai karakteristik kerja dengan ujung vektor yang terletak pada karakteristik ini akan mempunyai harga komponen X yang konstan. Karakteristik rele ini adalah berupa garis lurus yang sejajar dengan sumbu R, sebagaimana digambarkan dibawah ini.



Gambar 2.13. Karakteristik rele reaktansi

Arti fisis dari dari karakteristik ini adalah, bahwa komponen tahanan dari impedansi tidak mempunyai pengaruh terhadap kerja rele. Rele hanya dipengaruhi oleh komponen reaktansinya. Setiap titik yang berada dibawah garis karakteristik kerja, baik diatas maupun dibawah sumbu R, merupakan daerah torsi positif. Dengan demikian rele ini bisa bekerja pada keadaan beban normal. Untuk mengatasi keadaan ini diperlukan suatu unit arah. Unit arah untuk rele ini tidak dapat digunakan seperti unit arah pada rele impedansi dan biasanya digunakan unit arah yang ditentang oleh torsi tegangan yang disebut dengan rele admitansi.

2.7.3. Rele Admitansi

Rele ini beroperasi dengan adanya torsi yang dihasilkan oleh kedua arus dan tegangan yang ditentang oleh torsi tegangan. Berdasarkan persamaan (2-37), konstanta-konstanta yang berharga nol dapat ditentukan yaitu:

$$k_a = k_s = 0$$

persamaan (3-2) menjadi,

$$k_c |V| |I| \cos(\phi - \theta) - k_b |V|^2 = 0$$

dibagi dengan $k_c |V|^2$ diperoleh,

$$|I/V| \cos(\phi - \theta) - k_b/k_c = 0$$

atau

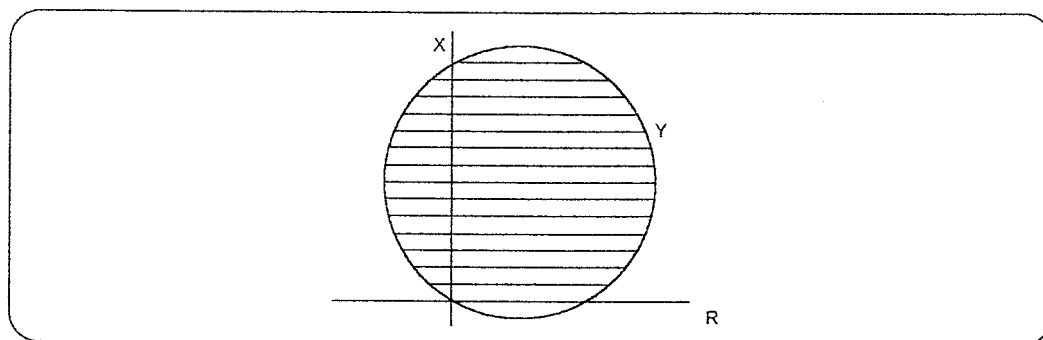
$$Y \cos(\phi - \theta) = k_b/k_c$$

$$Z = k_c/k_b \cos(\phi - \theta) \quad (2-41)$$

Torsi maksimum bila $(\phi - \theta) = 0$, dan torsi minimum bila $(\phi - \theta) = \pm 90^\circ$. Dengan demikian karakteristik rele merupakan suatu lingkaran dengan jari-jari dan pusat:

$$r = k_c/k_b$$

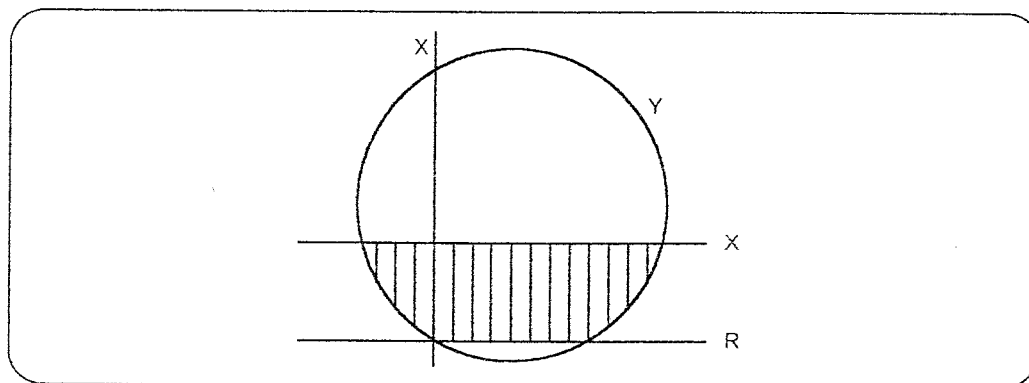
$$c = k_c/k_b/\theta$$



Gambar 2.14. Karakteristik rele admitansi

Bila karakteristik ini digabungkan dengan karakteritik rele reaktansi, maka rele admitansinya sendiri akan berfungsi sebagai unit arah sehingga rele reaktansi

tidak bekerja dalam kondisi normal. Gabungan kedua karakteristik ini dapat digambarkan didalam diagram R-X berikut ini.



Gambar 2.15. Karakteristik rele reaktansi dengan unit arah

2.8. PENYETELAN RELE JARAK

Berbagai permasalahan yang dapat mempengaruhi keakuratan pengukuran impedansi oleh rele jarak terutama mengenai tahanan busur yang besarnya tidak dapat diduga secara pasti. Bila rele yang digunakan adalah rele reaktansi, maka masalah tahanan busur tidak dipermasalahkan tetapi untuk rele impedansi, maka tahanan busur harus diperhitungkan dalam penyetelan daerah operasinya.

Untuk mengantisipasi masalah di atas, biasanya daerah operasi rele dibagi atas tiga daerah dan disebut dengan zone-1, zone-2, dan zone-3. Masing-masing zone mempunyai waktu operasi yang berbeda dan zone-1 diberi waktu operasi seketika. Hubungan antara zone-zone tersebut adalah sebagai berikut

$$Z_{1, \text{ zone-1}} < Z_{1, \text{ zone-2}} < Z_{1, \text{ zone-3}}$$

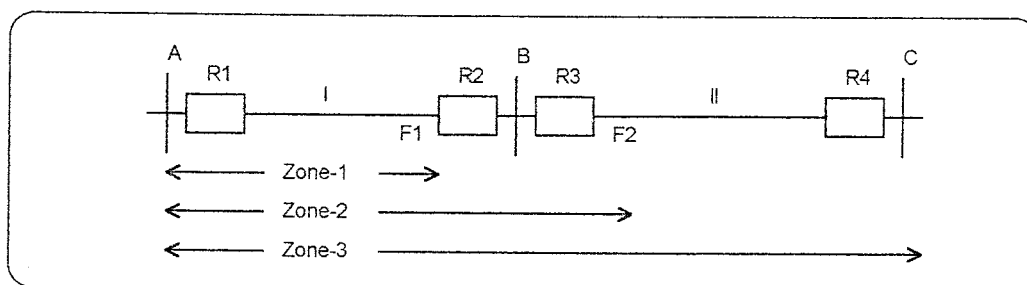
$$t_{\text{zone-1}} < t_{\text{zone-2}} < t_{\text{zone-3}}$$

dimana :

$$Z_1 = \text{Impedansi penyetelan}$$

t = waktu operasi rele

Dalam tugas akhir ini, analisa penyetelan rele jarak hanya dilakukan terhadap rele impedansi.



Gambar 2.16. Sistem proteksi jarak dengan tiga zone

Keterangan:

R1,R2: Rele-rele dengan daerah operasi pada saluran AB atau saluran proteksi I.

R3,R4: Rele-rele dengan daerah operasi pada saluran BC atau saluran proteksi II.

2.8.1. Penyetelan Zone-1

Proteksi pada zone-1 adalah proteksi seketika, sehingga jangkauan zone-1 tidak boleh mencakup keseluruhan daerah yang dilindungi. Pada gambar 2.16 dapat dimisalkan bahwa daerah yang dilindungi tersebut adalah saluran AB. Agar tidak membingungkan dibuat konsekuensi bahwa terminal di depan rele R1 dan R4 adalah terminal B, terminal di depan rele R2 adalah terminal A dan terminal di depan rele R3 adalah terminal C. Saluran di depan rele adalah saluran yang diproteksi, saluran di depan kedua adalah saluran tetangga yang bukan merupakan daerah operasinya. Konsekuensi ini akan berlaku pada analisa penyetelan zone-2 dan zone-3.

Biasanya Zone-1 disetel sebesar 80% s/d 90% dari panjang saluran yang dilindungi. Dengan demikian rele zone-1 yang ditempatkan di terminal A tidak akan bekerja bila gangguan terjadi di terminal depannya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyetelan zone-1 ini adalah sebagai berikut:

1. Unit zone-1 tidak boleh mencakup keseluruhan daerah proteksi, dengan kata lain rele zone-1 tidak boleh bekerja bila gangguan terjadi di terminal depannya. Hal ini disebabkan zone-1 bekerja seketika. Apabila mencakup keseluruhan, maka bila terjadi gangguan di titik F1 maupun titik F2 (lihat gambar 2.16) rele R1 dan R4 bisa bekerja sehingga terjadi pemutusan yang tidak diinginkan. Seharusnya gangguan di F1 akan diproteksi oleh rele R1 dan R2 sedangkan gangguan di F2 akan diproteksi oleh R3 dan R4.
2. Jangkauan rele zone-1 tidak boleh kurang dari 50% saluran yang dilindungi akibat adanya tahanan gangguan. Sebab akan ada daerah pada saluran yang tidak mempunyai proteksi seketika. Jangkauan kurang 50% ini boleh saja terjadi asalkan rele lain yang berhadapan dengannya dapat mengantisipasinya.

2.8.2. Penyetelan Zone-2

Zone-2 biasanya disetel mencakup sampai beberapa bagian saluran tetangganya (pada gambar 2.16 adalah saluran II). Impedansi penyetelan adalah 100% saluran di depan rele ditambah 20% s/d 80% saluran di depan kedua. Waktu penyetelan zone-2 harus memperhatikan waktu ketidakpastian operasi unit

zone-1, agar benar-benar yakin bahwa unit zone-1 memang tidak mendeteksi gangguan yang ada. Prinsip penyetelan impedansi rele pada zone-2 ini adalah:

1. Jangkauan unit zone-2 harus mencakup minimal gangguan di terminal depannya. Biasanya rele disetel 120% impedansi saluran yang diproteksi untuk menghindari gagalnya rele zone-2 mendeteksi gangguan yang terjadi terminal depannya. Jangkauan lebih akan diatasi oleh rele zone-1 yang dimiliki oleh saluran tetangga (pada gambar 2.6 adalah rele R3), yang bekerja seketika.
2. Rele Zone-2 merupakan cadangan terhadap unit zone-1, sehingga waktu operasinya harus lebih lama dari zone-1.
3. Bila pada terminal depan rele mempunyai transformator daya untuk melayani saluran depan kedua, maka rele zone-2 tidak boleh bekerja bila gangguan terjadi di terminal transformator tersebut. berarti zone-2 harus disetel lebih kecil dari Z_1 saluran depan ditambah Z_1 transformator.

2.8.3. Penyetelan Zone-3

Penyetelan jangkauan zone-3 merupakan unit cadangan terhadap unit zone-2, sehingga jangkauannya pasti lebih jauh (besar) dari jangkauan zone-2.

Prinsip penyetelan pada unit ini adalah sebagai berikut:

1. Jangkauan zone-3 harus mencakup semua jangkauan zone-2 berarti $Z_1, \text{zone-3} > Z_1, \text{zone-2}$
2. Jangkauan zone-3 tidak boleh melebihi jangkauan zone-2 rele proteksi saluran depan kedua.

3. Rele zone-3 tidak boleh bekerja pada keadaan beban maksimum.

2.9. Pengaruh Tahanan Busur

Pada umumnya kejadian hubung singkat selalu mengakibatkan terjadinya busur api. Busur api ini merupakan suatu tahanan yang disebut dengan tahanan busur. Adanya tahanan busur ini dapat mempengaruhi besarnya impedansi yang dirasakan oleh rele jarak. Untuk ini tahanan busur perlu diperhitungkan dalam penentuan daerah operasi rele terutama pada rele impedansi.

Gambar 2.17 memperlihatkan pengaruh tahanan busur pada operasi rele impedansi. Dapat disimpulkan, bahwa dengan adanya tahanan busur maka jangkauan rele akan semakin berkurang. Dengan berkurangnya jangkauan rele, akan terdapat bagian saluran yang tidak terproteksi oleh rele. Menurut Warrington besarnya tahanan busur adalah:

$$R_f = 8750l/I^{1,4} \quad (2-42)$$

dengan, l : panjang busur api (feet)

I : arus gangguan (A)

Tetapi dengan adanya pengaruh angin dan kelambatan waktu pemutusan, maka besarnya tahanan busur bisa bertambah dan persamaan (2-42) menjadi,

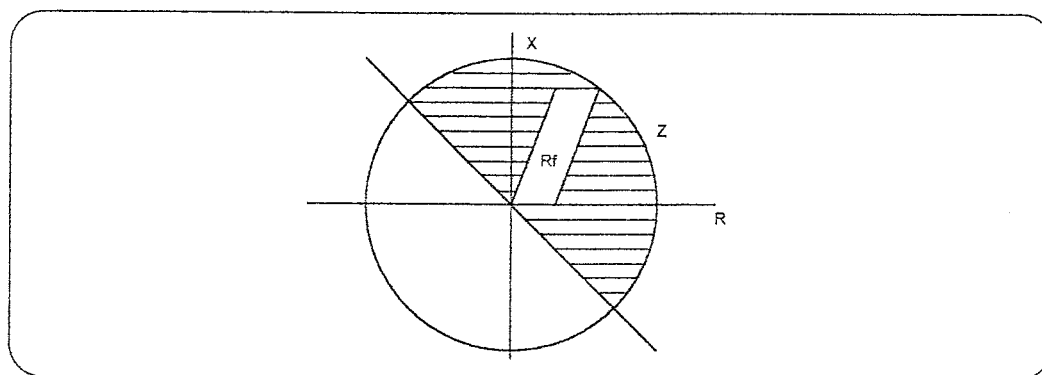
$$R_f = 8750(s + 3vt)/I^{1,4} \quad (2-43)$$

dengan, s : Jarak antara konduktor (feet)

v : Kecepatan angin (mile/jam)

t : Waktu (detik)

Pada tugas akhir ini tahanan busur dapat dihitung berdasarkan jumlah impedansi yang diukur oleh kedua rele impedansi yang ditempatkan pada terminal saluran yang berhadapan.



Gambar 2.17. *Pengaruh tahanan busur pada operasi rele impedansi*

BAB III

ALGORITMA PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

3.1. ALGORITMA HUBUNG SINGKAT

Studi hubung singkat dapat diselesaikan melalui berbagai metoda. Metoda yang umum dipakai adalah:

1. Metoda admitansi bus
2. Metoda impedansi bus

Dalam metoda impedansi bus, pembentukan matriks impedansi dapat diperoleh dengan dua cara yaitu:

1. Dengan menginverskan matriks admitansi bus.
2. Dengan metoda penambahan elemen demi elemen.

Pada umumnya dalam studi hubung singkat, beban dan kapasitansi saluran sering diabaikan guna penyederhanaan perhitungan. Tetapi pada kenyataannya pengaruh beban dan kapasitansi saluran ini sangat berpengaruh pada penentuan penyetelan rele jarak. Dengan demikian dalam tugas akhir ini, parameter yang digunakan dalam studi hubung singkat yang mempengaruhi penentuan jarak gangguan dari lokasi rele terdiri dari impedansi saluran transmisi, tahanan gangguan, beban yang dianggap sebagai impedansi konstan dan kapasitansi saluran.

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



3.1.1. Pembentukan Matriks Admitansi Bus

Matriks admitansi bus dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$Y_{ij}^{012} = \sum_{j=1}^n y_{ij}^{012} \quad (3-1)$$

$$Y_{ij}^{012} = -y_{ij}^{012} \quad (3-2)$$

dan

$$y_{ij}^{012} = 1/z_{ij}^{012} \quad (3-3)$$

dimana

y_{ij}^{012} = admitansi primitif urutan nol, positif, dan negatif antara bus i dan j.

z_{ij}^{012} = impedansi primitif urutan nol, positif dan negatif antara bus i dan j.

Dalam bentuk matriks (n x n), admitansi bus dinyatakan sebagai berikut:

$$Y_{bus}^{012} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{2n} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{3n} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{4n} \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} & Y_{n4} & Y_{nn} \end{bmatrix}^{012} \quad (3-4)$$

Kemudian dengan menginverskan Y_{bus} , maka impedansi bus akan diperoleh:

$$z_{bus}^{012} = \left[Y_{bus}^{012} \right]^{-1}$$

atau

$$z_{bus}^{012} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} & z_{24} & z_{2n} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} & z_{34} & z_{3n} \\ z_{41} & z_{42} & z_{43} & z_{44} & z_{4n} \\ z_{n1} & z_{n2} & z_{n3} & z_{n4} & z_{nn} \end{bmatrix}^{012} \quad (3-5)$$

Dimana n merupakan jumlah bus yang ada pada suatu sistem, dan elemen-elemen impedansi yang berada pada diagonal utama matriks impedansi

bus ini disebut sebagai impedansi titik gerak (driving-point impedances) bus, sedangkan elemen-elemen non diagonal disebut sebagai impedansi transfer.

Bila gangguan terjadi pada bus p, maka Z_{pp}^{012} sama dengan Z^{012} thevenin dilihat dari bus p. Dengan demikian perhitungan arus gangguan yang dibahas pada bab terdahulu dapat digunakan dengan menggunakan elemen-elemen diagonal utama matriks impedansi ini sesuai dengan nomor bus yang terganggu.

Dengan diketahuinya elemen-elemen non diagonal matriks impedansi ini, maka tegangan-tegangan pada bus-bus yang tidak mengalami gangguan dapat diperoleh. Kemudian dengan diketahuinya besar tegangan pada bus-bus yang tidak terganggu, maka arus pada saluran-saluran akan dapat dihitung.

3.1.2. Persamaan Arus dan Tegangan Saat Gangguan

Dengan terbentuknya matriks impedansi bus, maka persamaan arus dan tegangan gangguan untuk berbagai tipe gangguan yang dibahas pada bab 2 akan ditulis dalam bentuk matriks.

a. Hubung singkat 3 fasa

Pada kondisi ini arus urutan nol dan urutan negatif sama dengan nol dan dinyatakan pada persamaan berikut ini.

$$\begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} = Vf \left(Z_{pp}^1 + Z_f \right) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

dan besar arus fasa pada titik gangguan adalah:

$$\begin{bmatrix} I_p^a \\ I_p^b \\ I_p^c \end{bmatrix} = Vf \left(Z_{pp}^1 + Z_f \right) \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \quad (3-7)$$

Tegangan pada titik gangguan,

$$\begin{bmatrix} V_p^0 \\ V_p^1 \\ V_p^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Vf(Z_{pp}^1 + Z_f) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

dan

$$\begin{bmatrix} V_p^a \\ V_p^b \\ V_p^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} 0 \\ Vf(Z_{pp}^1 + Z_f) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-9)$$

dimana:

I_p^0, I_p^1, I_p^2 : arus urutan nol, positif, dan negatif untuk fasa a (referensi) di bus p.

I_p^a, I_p^b, I_p^c : arus fasa a, fasa b, dan fasa c di bus p.

V_f : tegangan pada bus p sebelum gangguan terjadi

Z_f : impedansi gangguan

Kemudian dengan memanfaatkan impedansi transfer dari matriks impedansi bus,

tegangan pada bus-bus yang tidak terganggu dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Vf \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ Z_{ip}^1 I_p^1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-10)$$

dan

$$\begin{bmatrix} V_i^a \\ V_i^b \\ V_i^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} \quad (3-11)$$

Arus pada saluran yang terhubung dengan titik gangguan dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} = y_{ip}^{012} \begin{bmatrix} V_i^0 - V_p^0 \\ V_i^1 - V_p^1 \\ V_i^2 - V_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-12)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^a \\ I_{ip}^b \\ I_{ip}^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} \quad (3-13)$$

b. Hubung singkat fasa ke tanah

Pada kondisi ini, besar arus urutan nol, urutan positif, dan urutan negatif pada fasa yang terganggu mempunyai harga yang sama sedangkan arus pada fasa yang tidak terganggu sama dengan nol. Persamaan arus ini dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} = V_f \begin{pmatrix} Z_{pp}^0 + Z_{pp}^1 + Z_{pp}^2 + 3Z_f \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-14)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_p^a \\ I_p^b \\ I_p^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} = 3V_f \begin{pmatrix} Z_{pp}^0 + 2Z_{pp}^1 + Z_f \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3-15)$$

Tegangan pada bus yang tidak terganggu:

$$\begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^0 I_p^0 \\ Z_{ip}^1 I_p^1 \\ Z_{ip}^2 I_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-16)$$

dan

$$\begin{bmatrix} V_i^a \\ V_i^b \\ V_i^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} \quad (3-17)$$

Arus pada saluran yang terhubung dengan titik gangguan dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} = y_{ip}^{012} \begin{bmatrix} V_i^0 - V_p^0 \\ V_i^1 - V_p^1 \\ V_i^2 - V_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-18)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^a \\ I_{ip}^b \\ I_{ip}^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} \quad (3-19)$$

c. Hubung singkat fasa ke fasa

Bila hubung singkat yang terjadi pada fasa a dan fasa b, maka pada kondisi ini arus pada fasa a sama dengan nol sehingga arus urutan nol pada fasa referensi sama dengan nol. Persamaan arus tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} = V_{ff} (2Z_{pp}^1 + Z_f) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-20)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_p^a \\ I_p^b \\ I_p^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} = j\sqrt{3} V_{ff} (2Z_{pp}^1 + Z_f) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3-21)$$

Tegangan pada bus yang tidak terganggu:

$$\begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ Z_{ip}^1 I_p^1 \\ Z_{ip}^2 I_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-22)$$

dan

$$\begin{bmatrix} V_i^a \\ V_i^b \\ V_i^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} \quad (3-23)$$

Arus pada saluran yang terhubung dengan titik gangguan dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} = y_{ip} \begin{bmatrix} V_i^0 - V_p^0 \\ V_i^1 - V_p^1 \\ V_i^2 - V_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-24)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} \quad (3-25)$$

d. Hubung singkat dua fasa ke tanah

Bila fasa b dan fasa c terhubung singkat ke tanah, maka arus pada fasa a sama dengan nol dan persamaan arus tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(Z_{pp}^1 + Z_f) V_f / Z_t \\ (Z_q / Z_t) V_f \\ -(Z_{pp}^0 + Z_f + 3Z_g) V_f / Z_t \end{bmatrix} \quad (3-26)$$

dimana: Z_t dan Z_q sama dengan pada persamaan (2-32).

dan

$$\begin{bmatrix} I_p^a \\ I_p^b \\ I_p^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_p^0 \\ I_p^1 \\ I_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-27)$$

Tegangan pada bus yang tidak terganggu:

$$\begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{ip}^0 I_p^0 \\ Z_{ip}^1 I_p^1 \\ Z_{ip}^2 I_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-28)$$

dan

$$\begin{bmatrix} V_i^a \\ V_i^b \\ V_i^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_i^0 \\ V_i^1 \\ V_i^2 \end{bmatrix} \quad (3-29)$$

Arus pada saluran yang terhubung dengan titik gangguan dapat diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} = y^{012} \begin{bmatrix} V_i^0 - V_p^0 \\ V_i^1 - V_p^1 \\ V_i^2 - V_p^2 \end{bmatrix} \quad (3-30)$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_{ip}^a \\ I_{ip}^b \\ I_{ip}^c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} I_{ip}^0 \\ I_{ip}^1 \\ I_{ip}^2 \end{bmatrix} \quad (3-31)$$

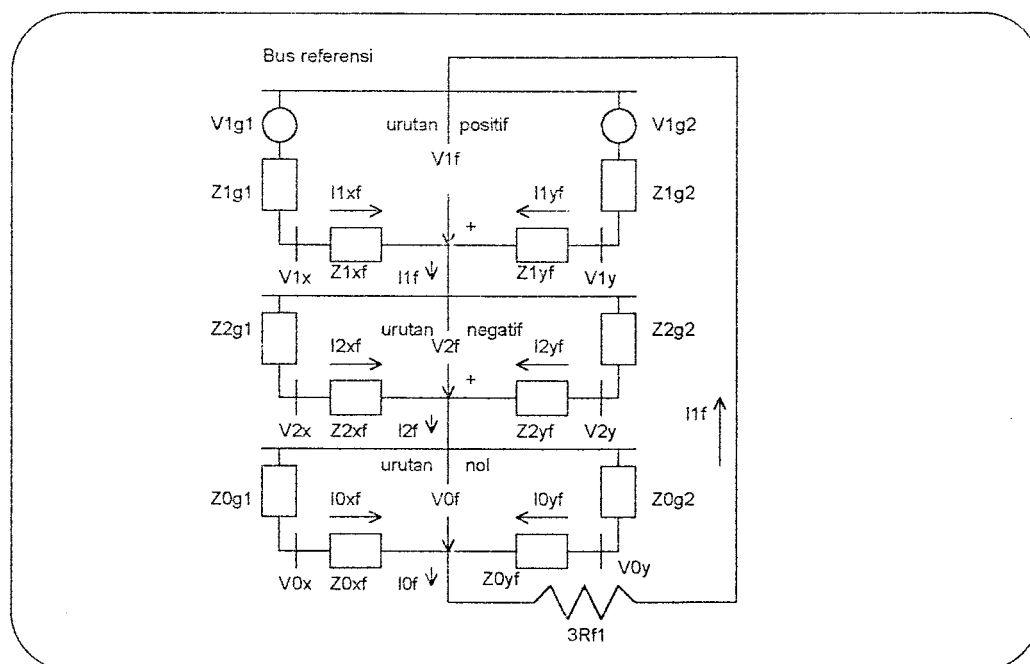
3.2. ALGORITMA PENENTUAN LOKASI GANGGUAN

Pada algoritma hubung singkat dapat dilihat, dengan teori komponen simetris maka semua tipe gangguan hubung singkat dapat dianalisa pada fasa tertentu saja. Fasa yang dianalisa tersebut dinyatakan sebagai fasa referensi dan biasanya diambil fasa a. Dengan diketahuinya arus dan tegangan urutan pada fasa

referensi, maka semua arus dan tegangan fasa pada fasa referensi maupun pada fasa lainnya akan dapat diperoleh. Kemudian besarnya impedansi yang diukur oleh rele impedansi dapat diperoleh sesuai dengan perbandingan tegangan dan arus yang diukurnya.

3.2.1 Estimasi Lokasi Gangguan Fasa ke Tanah

Untuk menjelaskan teknik lokasi gangguan ini, dimisalkan sistem yang ditunjukkan pada gambar 1.1 sedang mengalami gangguan satu fasa ke tanah pada titik F melalui tahanan gangguan R_f . Pada gangguan fasa ke tanah, tahanan gangguan R_f terdiri dari tahanan busur dan tahanan tanah yang terhubung secara seri. Dengan menggunakan analisa komponen simetris, keadaan ini dapat digambarkan sebagai diagram Jala-jala urutan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke tanah³

³ ibid, hal 56

Bila gangguan terjadi pada fasa A, maka rele gangguan tanah yang terdapat pada terminal X dan Y akan mengestimasi impedansi terhadap lokasi gangguan yaitu Z_{x1} dan Z_{y1} yang dinyatakan pada persamaan berikut ini.

$$Z_{x1} = V_{ax}/(I_{axf} + 3kI_{0xf}) \quad (3-32)$$

$$Z_{y1} = V_{ay}/(I_{ayf} + 3kI_{0yf}) \quad (3-33)$$

dimana, $k = (Z_0 - Z_1)/(3Z_1)$

Untuk gangguan yang terjadi pada fasa B dan C, persamaan (3-32) dan (3-33) dapat dinyatakan dalam tegangan dan arus yang bersesuaian. Persamaan (3-32) dan (3-33) dapat disederhanakan ke dalam bentuk berikut ini.

$$Z_{x1} = Z_1 x_f + (u_{x1} + jv_{x1})(1 + p_1 \angle \theta_1) R_{f1} \quad (3-34)$$

$$Z_{y1} = Z_1 y_f + (u_{y1} + jv_{y1})(1 + (1/p_1) \angle \theta_1) R_{f1} \quad (3-35)$$

Dimana,

$$p_1 \angle \theta_1 = I_{0yf}/I_{0xf}$$

$$u_{x1} = \text{re}[(3I_{0xf})/(I_{axf} + 3kI_{0xf})]$$

$$v_{x1} = \text{im}[(3I_{0xf})/(I_{axf} + 3kI_{0xf})]$$

$$u_{y1} = \text{re}[(3I_{0yf})/(I_{ayf} + 3kI_{0yf})]$$

$$v_{y1} = \text{im}[(3I_{0yf})/(I_{ayf} + 3kI_{0yf})]$$

Dari persamaan (3-34) dan (3-35) serta $p_1 \angle \theta_1$ dan $(1/p_1) \angle \theta_1$ dinyatakan dalam bentuk kartesian akan diperoleh,

$$Z_{x1} + Z_{y1} = Z_1 x_f + Z_1 y_f + (a_1 + jb_1)$$

dengan

$$\begin{aligned} a_1 + jb_1 = R_{f1} [& u_{x1} + u_{y1} + (u_{x1}p_1 + u_{y1}/p_1)\cos\theta_1 - (v_{x1}p_1 - v_{y1}/p_1)\sin\theta_1] \\ & + jR_{f1} [v_{x1} + v_{y1} + (v_{x1}p_1 + v_{y1}/p_1)\cos\theta_1 + (u_{x1}p_1 - u_{y1}/p_1)\sin\theta_1] \end{aligned} \quad (3-36)$$

dimana,

$$a_1 = R_{f1}[ux_1 + uy_1 + (ux_1p_1 + uy_1/p_1)\cos\theta_1 - (vx_1p_1 - vy_1/p_1)\sin\theta_1] \quad (3-37)$$

$$b_1 = R_{f1}[vx_1 + vy_1 + (vx_1p_1 + vy_1/p_1)\cos\theta_1 + (ux_1p_1 - uy_1/p_1)\sin\theta_1] \quad (3-38)$$

Sedangkan berdasarkan pengukuran

$$Z_f = Z_{x1} + Z_{y1} - (Z_1x_f + Z_1y_f) = a_1 + jb_1 \quad (3-39)$$

Berdasarkan persamaan (3-37) dan (3-38), maka R_{f1} dapat diperoleh dengan memanfaatkan harga a_1 yang diperoleh dari persamaan (3-39). Kemudian persamaan (3-34) dan (3-35) serta menyatakan $p_1 \angle \theta_1$ dan $(1/p_1) \angle \theta_1$ dalam bentuk kartesian, maka Z_1x_f dan Z_1y_f akan diperoleh.

$$\begin{aligned} Z_1x_f &= Z_{x1} - [(1 + p_1\cos\theta_1)ux_1 - (p_1\sin\theta_1)vx_1]R_{f1} \\ &\quad - j[(1 + p_1\cos\theta_1)vx_1 + (p_1\sin\theta_1)ux_1]R_{f1} \end{aligned} \quad (3-40)$$

$$\begin{aligned} Z_1y_f &= Z_{y1} - [(1 + \cos\theta_1/p_1)uy_1 + (\sin\theta_1/p_1)vy_1]R_{f1} \\ &\quad - j[(1 + \cos\theta_1/p_1)vy_1 - (\sin\theta_1/p_1)uy_1]R_{f1} \end{aligned} \quad (3-41)$$

Jarak gangguan dari bus X dan bus Y yaitu L_x dan L_y dapat diestimasi berdasarkan persamaan (3-40) dan (3-41), dengan menggunakan persamaan berikut ini.

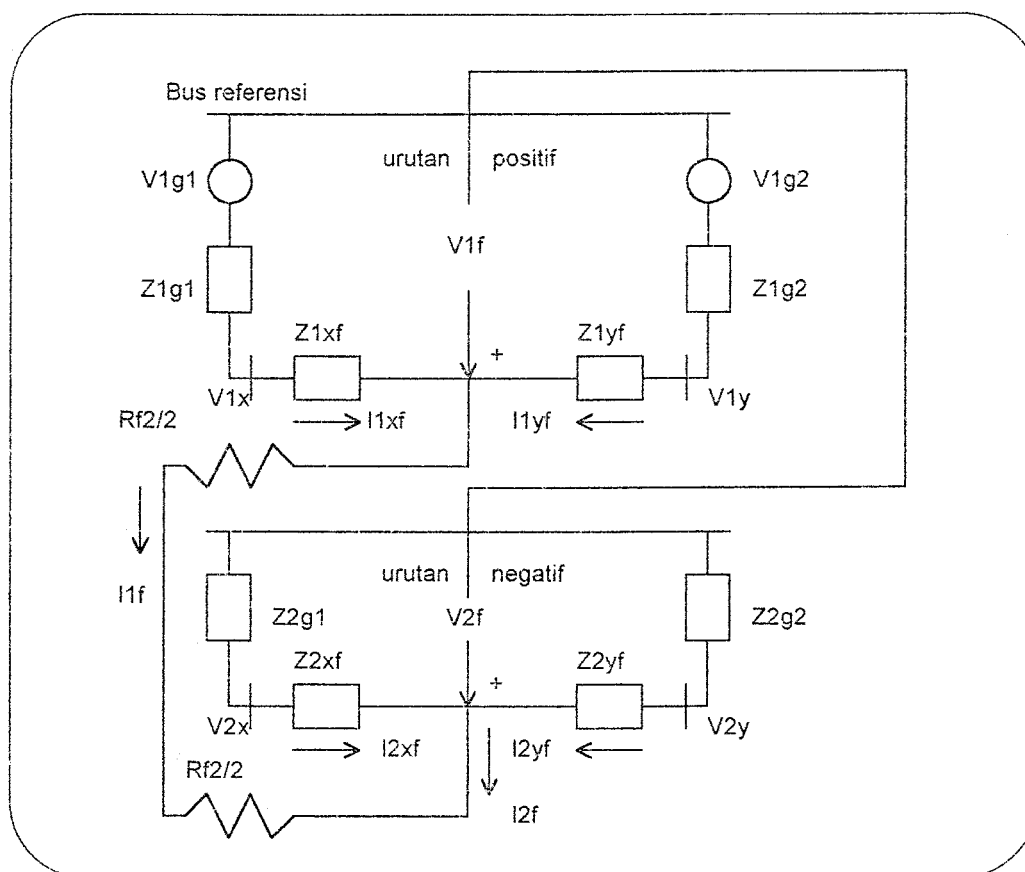
$$L_x = L[Im(Z_1x_f)/Im(Z_1)] \quad (3-42)$$

$$L_y = L[Im(Z_1y_f)/Im(Z_1)] \quad (3-43)$$

3.2.2. Estimasi Lokasi Gangguan Fasa ke Fasa

Analisa dilakukan dengan memisalkan sistem pada gambar 1.1 mengalami gangguan fasa ke fasa pada titik F dengan tahanan gangguan R_{f2} . Dalam gangguan jenis ini, R_{f2} merupakan tahanan busur. Dengan analisa komponen simetris keadaan ini dapat digambarkan sebagai diagram jala-jala urutan pada gambar 3.2.

Bila gangguan terjadi pada fasa B dan C, maka rele gangguan fasa B ke fasa C pada bus X dan bus Y akan mengestimasi besar impedansi terhadap lokasi gangguan yaitu Z_{x2} dan Z_{y2} yang dinyatakan dengan persamaan berikut ini.



Gambar 3.2. Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke fasa⁴

$$Z_{x2} = (V_{bx} - V_{cx}) / (I_{bxf} - I_{cxf}) \quad (3-44)$$

$$Z_{y2} = (V_{by} - V_{cy}) / (I_{byf} - I_{cyf}) \quad (3-45)$$

Untuk rele-rele gangguan fasa A ke fasa C dan fasa A ke fasa B akan menggunakan tegangan dan arus yang bersesuaian untuk dapat memperoleh impedansi Z_{x2} dan Z_{y2} .

Dari persamaan (3-44) dan (3-45) dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut.

$$Z_{x2} = Z_{1xf} + (u_{x2} + jv_{x2})(1 + p_2 \angle \theta_2) R_{f2} \quad (3-46)$$

⁴ ibid, hal. 60

$$Zy_2 = Z_1y_f + (uy_2 + jvy_2)(1 + (1/p_2)\angle -\theta_2)Rf_2 \quad (3-47)$$

dengan,

$$p_2\angle\theta_2 = l_1y_f/l_1x_f$$

$$ux_2 = \text{re}[l_1x_f/(l_1x_f - l_2x_f)]$$

$$vx_2 = \text{im}[l_1x_f/(l_1x_f - l_2x_f)]$$

$$uy_2 = \text{re}[l_1y_f/(l_1y_f - l_2y_f)]$$

$$vy_2 = \text{im}[l_1y_f/(l_1y_f - l_2y_f)]$$

Dari persamaan (3-46) dan (3-47) serta $p_2\angle\theta_2$ dan $(1/p_2)\angle -\theta_2$ dinyatakan dalam bentuk kartesian, akan diperoleh,

$$Zx_2 + Zy_2 = Z_1x_f + Z_1y_f + (a_2 + jb_2)$$

dengan,

$$\begin{aligned} a_2 = & [(1 + p_2\cos\theta_2)ux_2 - (p_2\sin\theta_2)vx_2]Rf_2 \\ & + [(1 + \cos\theta_2/p_2)uy_2 + (\sin\theta_2/p_2)vy_2]Rf_2 \end{aligned} \quad (3-48)$$

$$\begin{aligned} b_2 = & [(1 + p_2\cos\theta_2)vx_2 + (p_2\sin\theta_2)ux_2]Rf_2 \\ & + [(1 + \cos\theta_2/p_2)vy_2 + (\sin\theta_2/p_2)ux_2]Rf_2 \end{aligned} \quad (3-49)$$

Berdasarkan hasil pengukuran

$$a_2 + jb_2 = Zx_2 + Zy_2 - (Z_1x_f + Z_1y_f) \quad (3-50)$$

Dengan memasukkan harga a_2 yang diperoleh dari persamaan (3-50) ke dalam persamaan (3-48), maka Rf_2 dapat diperoleh. Kemudian penyusunan persamaan (3-46) dan (3-47), serta $p_2\angle\theta_2$ dan $(1/p_2)\angle -\theta_2$ dinyatakan dalam bentuk kartesian akan diperoleh,

$$\begin{aligned} Z_1x_f = & Zx_2 - [(1 + p_2\cos\theta_2)ux_2 - (p_2\sin\theta_2)vx_2]Rf_2 \\ & - j[(1 + p_2\cos\theta_2)vx_2 + (p_2\sin\theta_2)ux_2]Rf_2 \end{aligned} \quad (3-51)$$

$$Z_{1yf} = Z_{y2} - [(1 + \cos \theta_2 / p_2) u_{y2} + (\sin \theta_2 / p_2) v_{y2}] R_{f2}$$

$$-j[(1 + \cos \theta_2 / p_2) v_{y2} + (\sin \theta_2 / p_2) u_{y2}] R_{f2} \quad (3-52)$$

Dengan demikian dari Z_{1xf} dan Z_{1yf} , maka estimasi jarak gangguan fasa ke fasa dari titik X dan Y yaitu L_x dan L_y dapat diperoleh melalui persamaan (3-42) dan (3-43).

3.2.3. Estimasi Lokasi Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Analisa dilakukan dengan memisalkan sistem pada gambar 1.1 mengalami gangguan dua fasa ke tanah pada titik F, dengan tahanan gangguan R_{f2g} . Pada gangguan jenis ini, R_{f2g} merupakan tahanan busur. Dengan analisa komponen simetris, keadaan ini dapat digambarkan sebagai diagram jala-jala urutan pada gambar 3.3.

Bila gangguan terjadi pada fasa BC ke tanah maka rele gangguan fasa BC ke tanah pada terminal X dan Y akan mengestimasi impedansi terhadap lokasi gangguan yaitu Z_{x2g} dan Z_{y2g} yang dapat diperoleh melalui persamaan (3-44) dan (3-45). Persamaan (3-44) dan (3-45) tersebut dapat disederhanakan ke dalam bentuk persamaan berikut ini.

$$Z_{x2g} = Z_{1xf} + R_{f2g}(1 + p_{2g} \angle \theta_{2g}) \quad (3-53)$$

$$Z_{y2g} = Z_{1yf} + R_{f2g}(1 + (1/p_{2g}) \angle -\theta_{2g}) \quad (3-54)$$

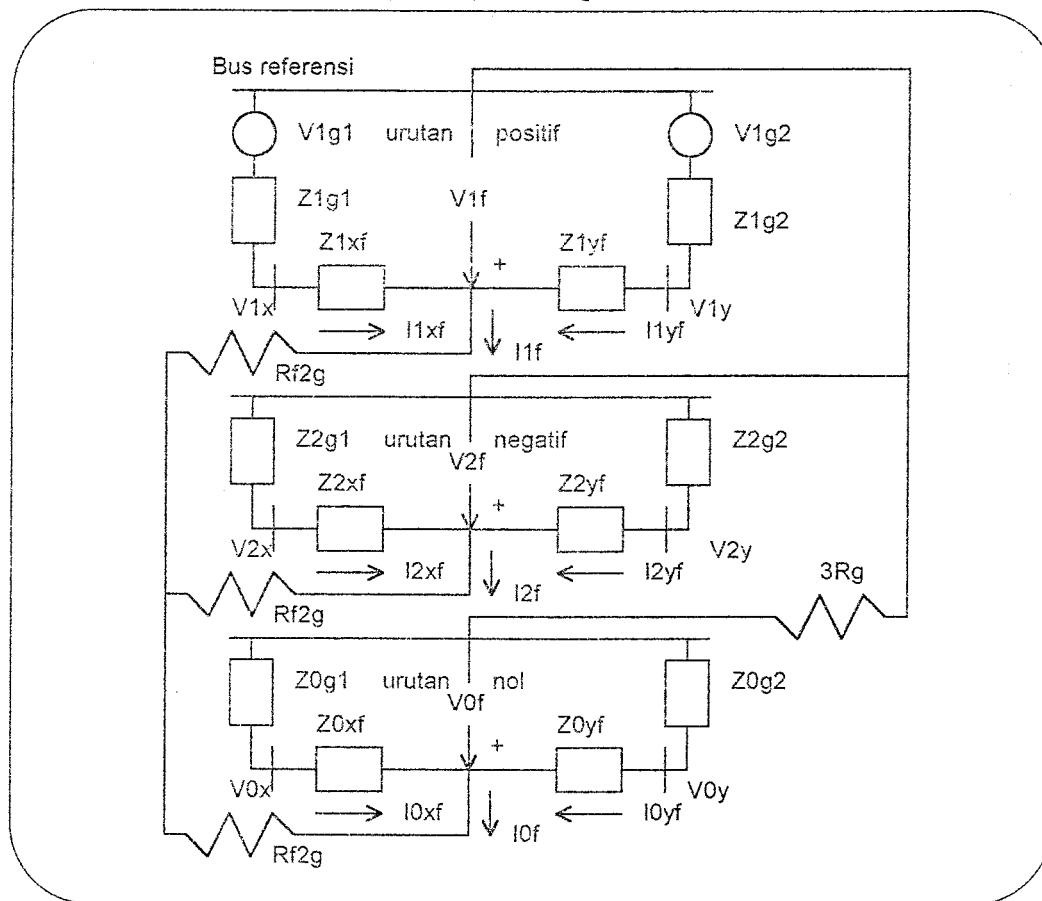
Dengan penyusunan persamaan (3-53) dan (3-54), $p_{2g} \angle \theta_{2g}$ dan $(1/p_{2g}) \angle -\theta_{2g}$ dinyatakan dalam bentuk kartesian akan diperoleh,

$$Z_{x2g} + Z_{y2g} = Z_{1xf} + Z_{1yf} + (a_{2g} + jb_{2g})$$

dengan,

$$a_{2g} = [(1 + p_{2g} \cos \theta_{2g}) + (1 + 1/p_{2g} \cos \theta_{2g})] R_{f2g} \quad (3-55)$$

$$b_{2g} = [p_{2g} \sin \theta_{2g} - (1/p_{2g}) \sin \theta_{2g}] R_{f2g} \quad (3-56)$$



Gambar 3.3. Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat dua fasa-tanah⁵

Berdasarkan hasil pengukuran

$$a_{2g} + jb_{2g} = Z_{x2g} + Z_{y2g} - (Z_{1xf} + Z_{1yf}) = Z_f \quad (3-57)$$

Dengan memanfaatkan harga a_{2g} yang diperoleh dari persamaan (3-57),

maka R_{f2g} dapat diperoleh. Kemudian dengan menyusun kembali persamaan (3-53) dan (3-54) serta $p_{2g} \angle \theta_{2g}$ dan $(1/p_{2g}) \angle -\theta_{2g}$ dinyatakan dalam bentuk kartesian akan diperoleh,

$$Z_{1xf} = Z_{x2g} - (1 + p_{2g} \cos \theta_{2g}) R_{f2g} - j(p_{2g} \sin \theta_{2g}) R_{f2g} \quad (3-58)$$

$$Z_{1yf} = Z_{y2g} - (1 + (1/p_{2g}) \cos \theta_{2g}) R_{f2g} + j((1/p_{2g}) \sin \theta_{2g}) R_{f2g} \quad (3-59)$$

Berdasarkan persamaan (3-58) dan (3-59), estimasi lokasi gangguan dari terminal X dan Y yaitu L_x dan L_y dapat diperoleh melalui persamaan (3-42) dan (3-43).

⁵ ibid, hal. 63

$$p_3 \angle \theta_3 = I_1 y_f / I_1 x_f$$

Dari persamaan (3-62) dan (3-63) serta $p_3 \angle \theta_3$ dan $(1/p_3) \angle -\theta_3$ dinyatakan dalam bentuk kartesian, akan diperoleh,

$$Zx_3 + Zy_3 = Z_1 x_f + Z_1 y_f + (a_3 + jb_3)$$

dengan,

$$a_3 = [2 + p_3 \cos \theta_3 + (1/p_3) \cos \theta_3] Rf_3 \quad (3-64)$$

$$b_3 = [p_3 \sin \theta_3 - (1/p_3) \sin \theta_3] Rf_3 \quad (3-65)$$

Berdasarkan hasil pengukuran

$$a_3 + jb_3 = Zx_3 + Zy_3 - (Z_1 x_f + Z_1 y_f) = Zf \quad (3-66)$$

Harga a_3 yang diperoleh dari persamaan (3-66), dimasukkan ke dalam persamaan (3-64) sehingga Rf_3 diperoleh. Kemudian dengan menyusun kembali persamaan (3-62) dan (3-63) serta $p_3 \angle \theta_3$ dan $(1/p_3) \angle -\theta_3$ dinyatakan dalam bentuk kartesian akan diperoleh,

$$Z_1 x_f = Zx_3 - (1 + p_3 \cos \theta_3) Rf_3 - j(p_3 \sin \theta_3) Rf_3 \quad (3-67)$$

$$Z_1 y_f = Zy_3 - (1 + (1/p_3) \cos \theta_3) Rf_3 + j[(1/p_3) \sin \theta_3] Rf_3 \quad (3-68)$$

Berdasarkan persamaan (3-67) dan (3-68) maka estimasi lokasi gangguan dapat diperoleh melalui persamaan (3-42) dan (3-43).

3.3. EFEK KAPASITANSI SALURAN

Teknik estimasi lokasi gangguan yang telah dijelaskan diatas adalah dengan mengabaikan efek kapasitansi saluran transmisi. Estimasi tersebut akan sesuai pada saluran transmisi melalui udara dengan jarak pendek sedangkan pada saluran transmisi udara dengan jarak menengah/panjang maka efek kapasitansi tidak lagi dapat diabaikan karena arus kapasitansi saluran akan relatif cukup besar. Gambar 3.5 akan memperlihatkan aliran arus kapasitansi saluran.

Dengan diperhitungkannya arus kapasitansi saluran ini, maka besar arus gangguan yang diukur pada terminal tidak sama besarnya dengan arus yang mengalir pada saluran yang menuju lokasi gangguan, sehingga dapat menimbulkan kesalahan estimasi lokasi gangguan. Untuk mengatasi hal ini perlu adanya perhitungan arus kapasitansi shunt dengan prosedur berikut ini.

Dalam penelitian ini teknik estimasi lokasi gangguan yang telah dijelaskan di atas dianggap merupakan estimasi awal. Setelah itu diadakan peninjauan efek kapasitansi saluran berdasarkan representasi saluran dengan model Phi yang terbagi dua bagian yaitu pada saluran X-F dan Y-F (gambar 1.1). Efek kapasitansi yang terletak pada titik gangguan dapat diabaikan karena arus kapasitansi pada titik tersebut jauh lebih kecil dibanding dengan arus gangguan. Arus kapasitansi ini terdiri dari arus kapasitansi urutan positif, negatif dan nol dan masing-masing dinotasikan dengan I_{1cx} , I_{2cx} , I_{0cx} untuk terminal X, dan I_{1cy} , I_{2cy} , I_{0cy} untuk terminal Y. Berdasarkan gambar 3.5, besarnya arus-arus urutan ini dapat diperoleh melalui persamaan-persamaan berikut ini.

$$I_{1cx} = V_{1x} \cdot Y_{1sh}/2 \quad (3-69)$$

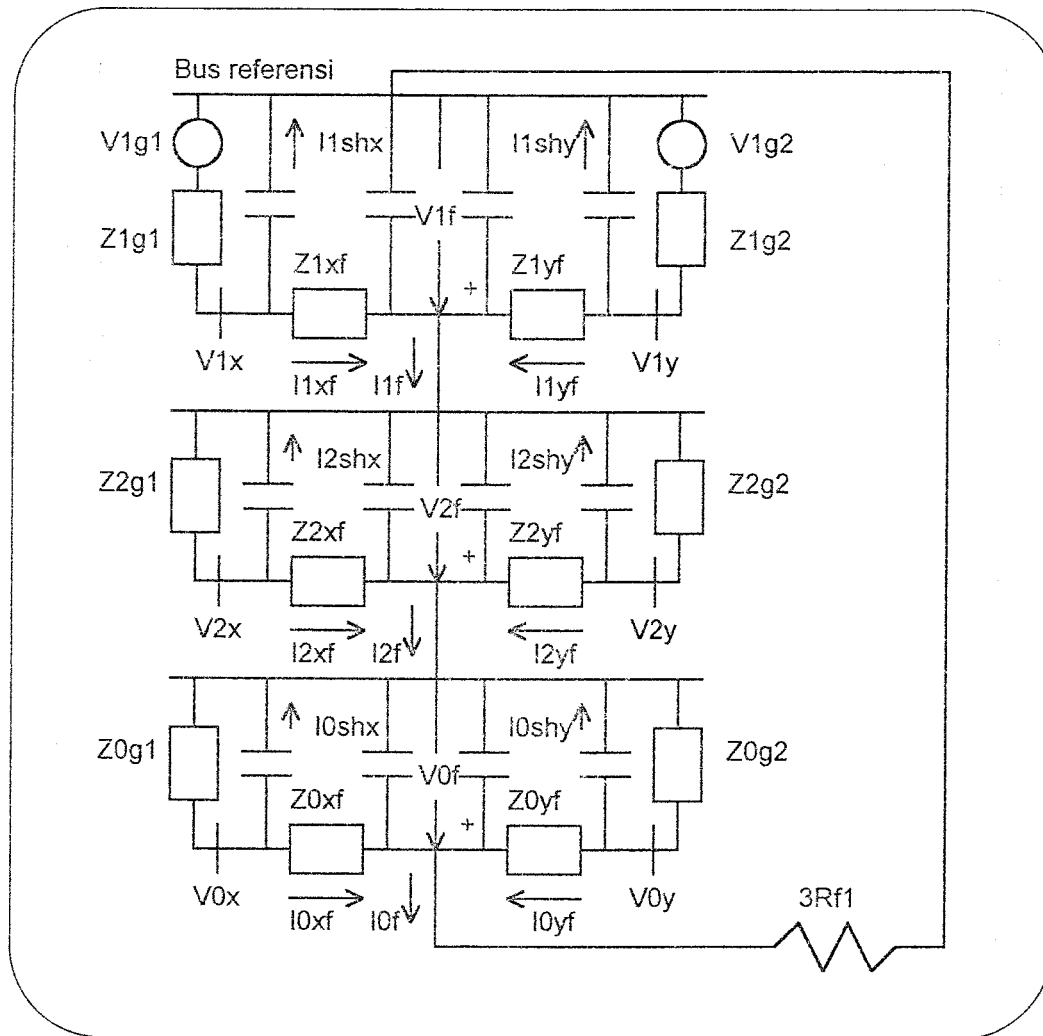
$$I_{2cx} = V_{2x} \cdot Y_{2sh}/2 \quad (3-70)$$

$$I_{0cx} = V_{0x} \cdot Y_{0sh}/2 \quad (3-71)$$

$$I_{1cy} = V_{1y} \cdot Y_{1sh}/2 \quad (3-72)$$

$$I_{2cy} = V_{2y} \cdot Y_{2sh}/2 \quad (3-73)$$

$$I_{0cy} = V_{0y} \cdot Y_{0sh}/2 \quad (3-74)$$



Gambar 3.5. Diagram jala-jala urutan untuk hubung singkat fasa ke tanah dengan memperhitungkan efek kapasitansi⁷

Kemudian besarnya arus gangguan yang mengalir pada saluran yang mengalir pada saluran yang menuju lokasi gangguan bila efek kapasitansi diperhitungkan dapat diperoleh melalui persamaan-persamaan berikut ini.

$$I'_{1xf} = I_{1xf} - I_{1cx} \quad (3-75)$$

$$I'_{2xf} = I_{2xf} - I_{2cx} \quad (3-76)$$

$$I'_{0xf} = I_{0xf} - I_{0cx} \quad (3-77)$$

$$I'_{1yf} = I_{1yf} - I_{1cy} \quad (3-78)$$

⁷ ibid, hal. 69

$$I'_{2yf} = I_{2yf} - I_{2cy} \quad (3-79)$$

$$I'_{0yf} = I_{0yf} - I_{0cy} \quad (3-80)$$

Dengan menggunakan persamaan (3-69) sampai dengan (3-80), estimasi lokasi gangguan dengan memperhitungkan efek kapasitansi saluran dapat dilakukan dengan teknik yang sama dengan estimasi awal diatas.

BAB IV

PENERAPAN ALGORITMA METODA PENENTUAN LOKASI GANGGUAN

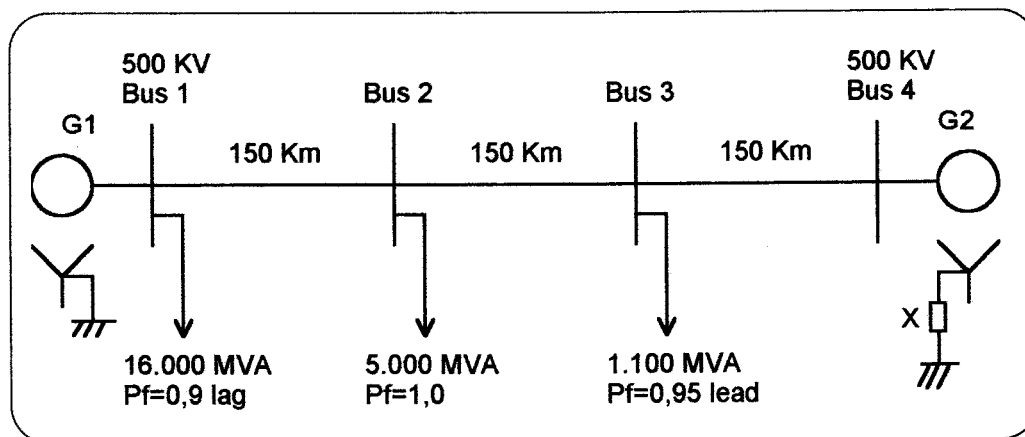
4.1. Penerapan Algoritma Estimasi Lokasi Gangguan

Metoda estimasi lokasi gangguan ini akan diuji pada sistem yang diperoleh dari IEEE standart. Sistem ini terdiri dari dua buah pembangkit yang terhubung secara interkoneksi melalui 4 buah bus (terminal) dimana diagram satu garisnya dapat dilihat pada gambar 4.1. Program komputer guna pengetesan ini terdiri dari simulasi gangguan hubung singkat dan estimasi lokasi gangguan. Program hubung singkat akan menghitung arus dan tegangan pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz serta mengestimasi besarnya impedansi dari lokasi rele terhadap lokasi gangguan. Data tersebut akan dimasukkan sebagai input ke program perhitungan lokasi gangguan. Untuk menguji program ini, Saluran transmisi yang menghubungkan bus 2 dan bus 3 (gambar 4.1) dipilih sebagai objek. Saluran yang dipilih sebagai objek dan saluran-saluran lainnya, dimodelkan dengan rangkaian nominal Φ .

Titik-titik gangguan disimulasikan pada bus 2 dan bus 3 serta pada titik-titik setiap 15 Km sepanjang saluran bus 2 dan bus 3. Pengujian program dilakukan pada semua tipe gangguan. Pada setiap titik gangguan tersebut, tahanan gangguan Rf disimulasikan. Dalam prosedur estimasi lokasi gangguan dapat dilihat bahwa tahanan gangguan Rf yang disimulasikan tadi, akan dihitung kembali guna

memperoleh lokasi gangguan. Keakuratan penghitungan R_f ini akan menentukan keakuratan lokasi gangguan yang diperoleh.

Diagram satu garis dari sistem yang akan digunakan untuk pengujian dapat dilihat pada gambar 4.1.

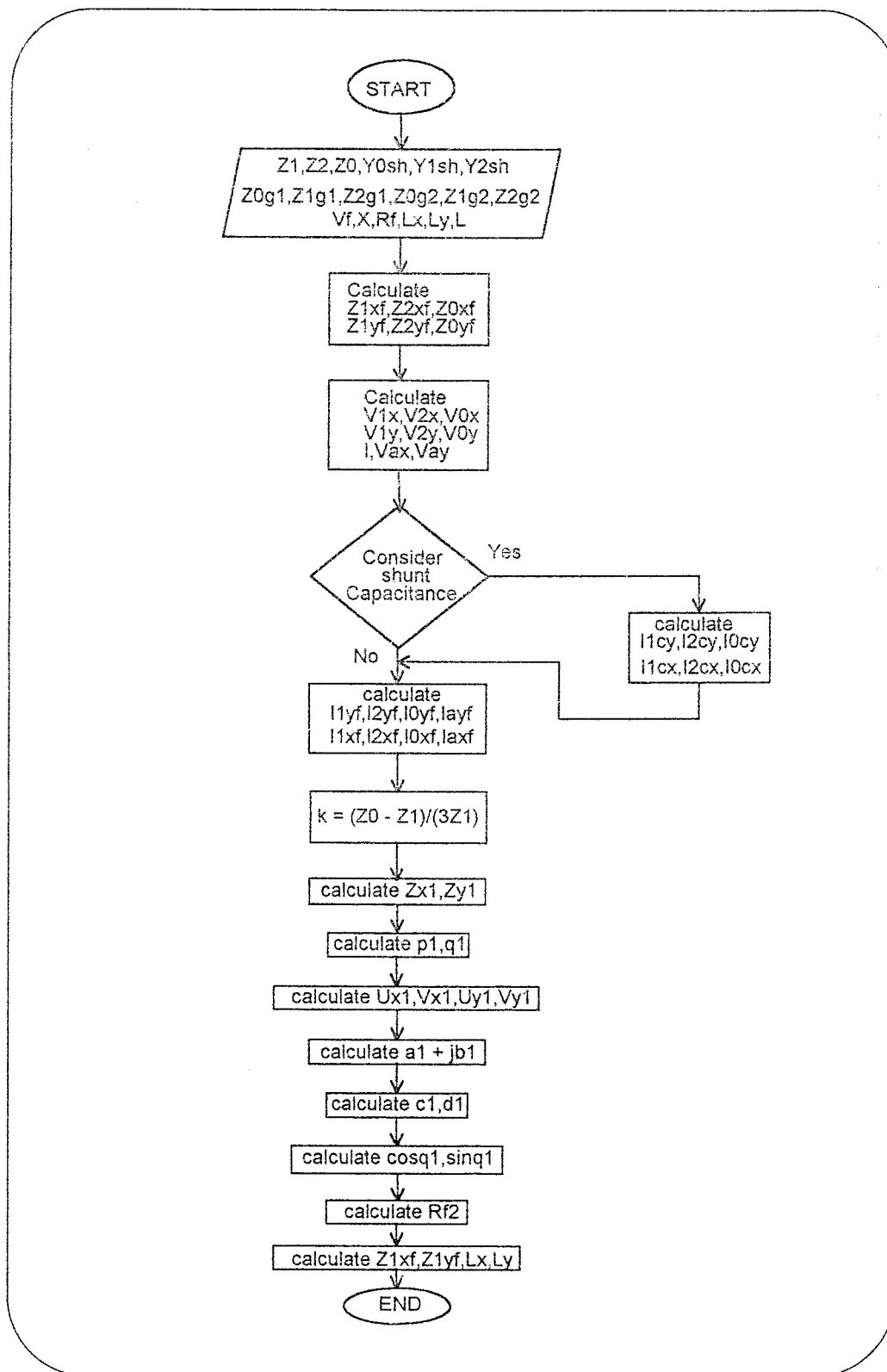


Gambar 4.1. Diagram segaris dua sumber melalui saluran transmisi 500 KV⁸

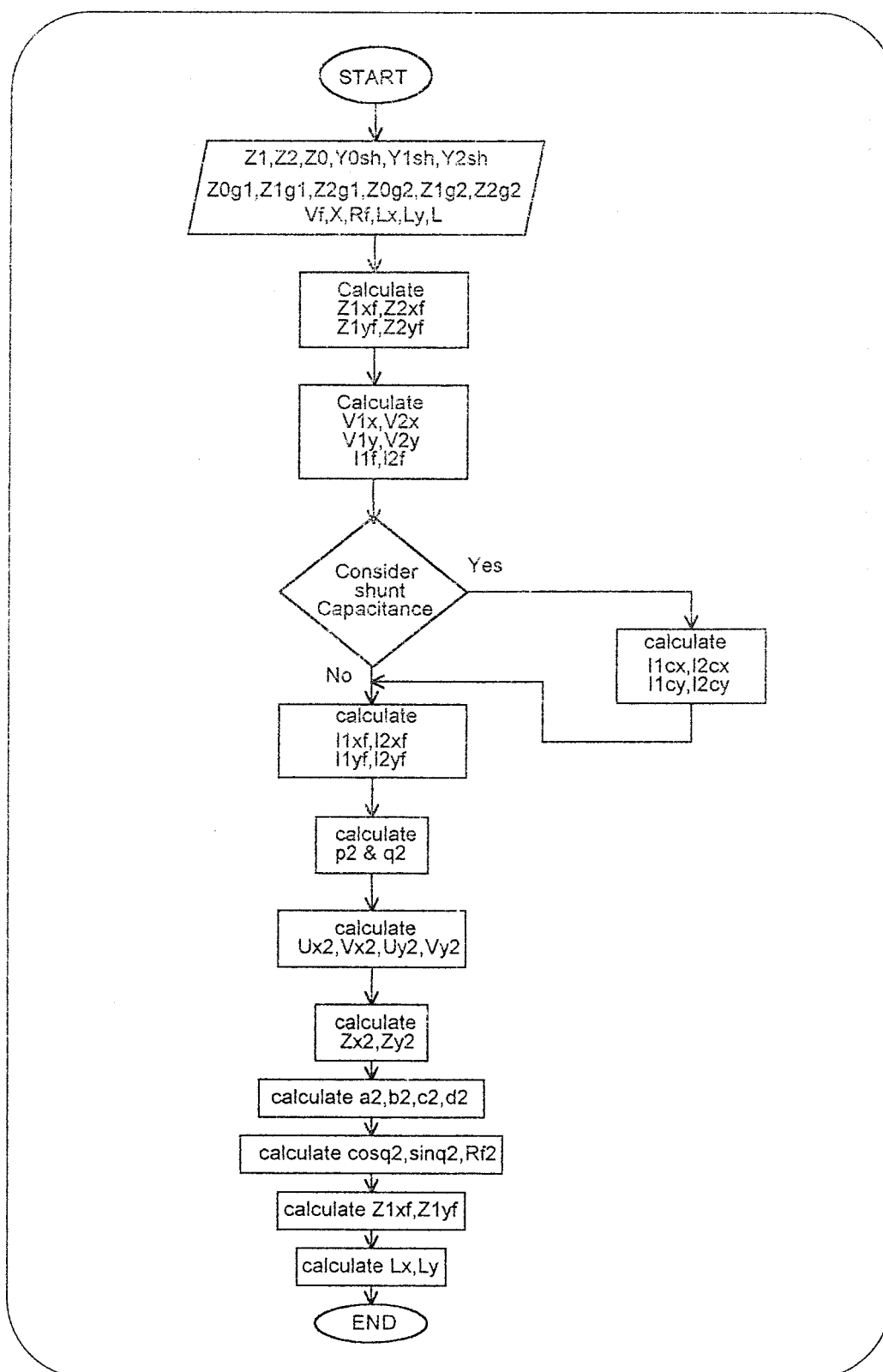
Rele-rele impedansi digital yang terpasang pada terminal-terminal saluran akan memutus saluran bila terjadi gangguan hubung singkat serta menentukan klasifikasi gangguan. Selama proses pendeteksian dan pengidentifikasian, rele-rele akan mengukur dan menyimpan informasi seperti pada tabel 4.1 dan informasi ini akan digunakan untuk mengestimasi lokasi gangguan. Impedansi dan arus yang diukur oleh rele-rele pada saat gangguan terjadi akan ditransfer kepada alat penghitung lokasi gangguan.

Berikut diagram alir untuk masing-masing jenis gangguan untuk program gangguan hubung singkat dan estimasi lokasi gangguan.

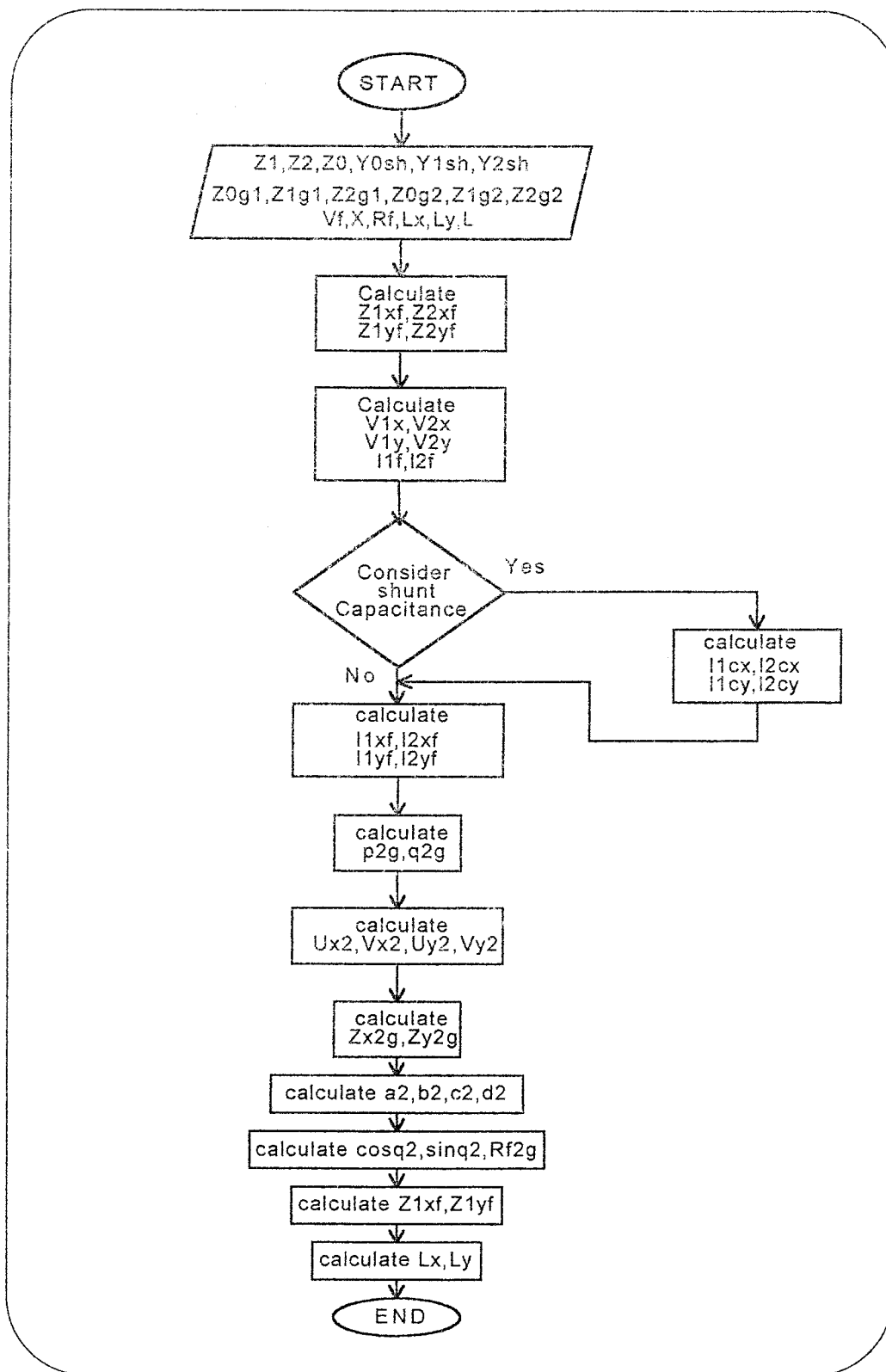
⁸ M.S. Sachdev, FIEEE, R. Agarwal, St. MIEEE, A Technique for Estimating Transmission Line Fault Locations from Digital Impedance Relay Measurements, IEEE Transactions on Power Delivery, hal. 125



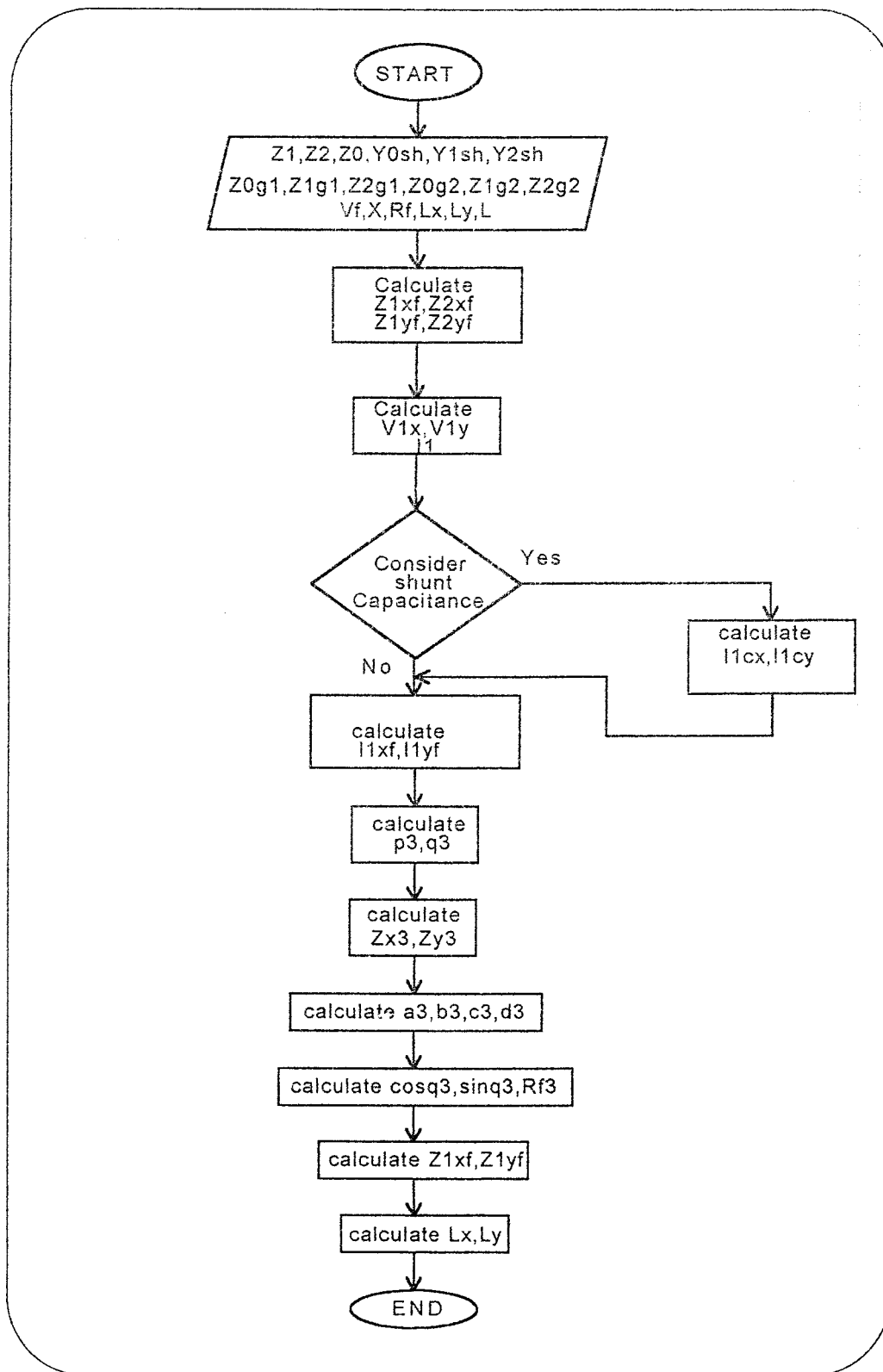
Gambar 4.2. Diagram alir untuk estimasi hubung singkat satu fasa ke tanah



Gambar 4.3. Diagram alir untuk estimasi hubung singkat fasa ke fasa



Gambar 4.4. Diagram alir untuk estimasi hubung singkat dua fasa ke tanah



Gambar 4.5. Diagram alir untuk estimasi hubung singkat tiga fasa simetri

Tabel 4.1. Hasil pengukuran rele untuk masukan program estimasi lokasi gangguan⁹

Tipe Gangguan	Impedansi nyata Z_{xi} dan Z_{yi}	Arus-arus fasor
Satu fasa ke tanah	Z_{x1} dan Z_{y1}	$(I_{axf} + 3kI_{0xf})$ $(I_{ayf} + 3kI_{0yf})$ I_{0xf} dan I_{0yf}
Fasa ke fasa	Z_{x2} dan Z_{y2}	$I_{1xf}, I_{2xf}, I_{1yf}, I_{2yf}$
Dua fasa ke tanah	Z_{x2g} dan Z_{y2g}	$I_{1xf}, I_{2xf}, I_{1yf}, I_{2yf}$
Tiga fasa simetri	Z_{x3} dan Z_{y3}	I_{1xf} dan I_{1yf}

Dalam penelitian ini data pada tabel 4.1 diperoleh melalui simulasi studi hubung singkat pada program komputer. Dengan adanya data pada tabel 4.1 ini, maka algoritma untuk mengestimasi lokasi berbagai tipe gangguan hubung singkat dapat diperoleh

4.2. Data Sistem Untuk Penerapan Program

Untuk menguji program, sistem yang digunakan diambil dari IEEE standard yang datanya terdiri dari data saluran, data pembangkit dan data beban.

Tabel 4.2. Harga-harga dasar pada sistem pengujian¹⁰

Arus (A)	Tegangan (KV)	Daya (MVA)	Impedansi (Ohm)
1154,700	500	1,000	250

Tabel 4.3. Data impedansi saluran transmisi (base 1000 MVA, 500 KV)¹¹

No saluran	Impedansi seri urutan positif (pu)	Impedansi seri urutan negatif (pu)	Impedansi seri urutan nol (pu)
1	0,00208+j0,03027	0,00208+j0,03027	0,00000+j0,93581
2	0,01454+j0,21186	0,01454+j0,21186	0,00000+j0,13369
3	0,00727+j0,10593	0,00727+j0,10593	0,00000+j0,26738

⁹ *ibid*, hal. 125

¹⁰ Berlin Saragih, *opcit*, hal. 74

¹¹ M.S. Sachdev, FIEEE, R. Agarwal, St.MIEEE, *opcit*, hal. 128

Tabel 4.4. Data admitansi saluran transmisi (base 1000 MVA, 500 KV) ¹²

No saluran	Admitansi shunt urutan positif (pu)	Admitansi shunt urutan negatif (pu)	Admitansi shunt urutan nol (pu)
1	0,00000+j1,19355	0,00000+j1,19355	0,00000+j0,93581
2	0,00000+j0,17051	0,00000+j0,17051	0,00000+j0,13369
3	0,00000+j0,34101	0,00000+j0,34101	0,00000+j0,26738

Tabel 4.5. Data sumber (semua impedansi pada base 1000MVA, 500KV) ¹³

No unit	Kapasitas (MVA)	Impedansi urutan positif (pu)	Impedansi urutan negatif (pu)	Impedansi urutan nol (pu)
G1	25,000	0.00027 + j0.01600	0,00027 + j0.01400	0.00400 + j0.00400
G2	1,000	0.00800 + j0.40000	0.00800 + j0.30000	0.00760 + j0.10000

Reaktansi dari reaktor X = 0,4 pu.

Tabel 4.6. Data beban (pada base 1000 MVA, 500 KV) ¹⁴

Bus	Kapasitas (MVA)	Power Faktor	Impedansi (pu)
1	16,000	0.9	0.00352+j0.00170
2	5,000	1	0.04000+j0.00000
3	1,100	0.95	0.78513-j0.25805

Untuk beban: $Z1 = Z2 = Z0$

¹² *ibid*

¹³ *ibid*

¹⁴ *ibid*, hal. 125

4.3. Hasil Perhitungan Simulasi Gangguan Hubung Singkat Dan

Estimasi Lokasi Gangguan

Tabel 4.7. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 2, $R_f = 2 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,000	0,4546	0,4684	-	-
15,0000	15,4454	15,3736	2,9693	2,4904
30,0000	30,4792	30,2092	1,5975	0,6974
45,0000	45,5085	44,9217	1,1301	0,1740
60,0000	60,5622	59,5239	0,9370	0,7936
75,0000	75,6800	74,0100	0,9067	1,3199
90,0000	90,9417	88,5224	1,0463	1,6417
105,0000	106,5823	102,9693	1,5070	1,9340
120,0000	121,1867	117,4730	0,9889	2,1058
135,0000	135,0230	133,0518	0,0171	1,4431
150,0000	151,9208	148,3549	1,2805	1,0968

Tabel 4.8. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 2, $R_f = 4 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	0,9319	0,9459	-	-
15,0000	15,8895	15,8535	5,9302	5,6900
30,0000	30,9598	30,7263	3,1992	2,4211
45,0000	46,0191	45,4727	2,2646	1,0504
60,0000	61,1261	60,1380	1,8769	0,2300
75,0000	76,3610	74,7618	1,8147	0,3177
90,0000	91,8834	89,3775	2,0927	0,6916
105,0000	108,1646	104,0018	3,0139	0,9507
120,0000	122,3733	118,5931	1,9777	1,1724
135,0000	135,0432	132,6716	0,0320	1,7247
150,0000	153,8103	147,6378	2,5402	1,5748

Tabel 4.9. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 2, $R_f = 2 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	0,0264	0,0199	-	-
15,0000	15,0100	15,0483	0,0670	0,3219
30,0000	29,9443	30,0541	0,1857	0,1803
45,0000	44,8708	45,0302	0,2871	0,0671
60,0000	59,9180	59,9655	0,1367	0,0575
75,0000	75,0017	74,9368	0,0023	0,0843
90,0000	90,0806	89,9472	0,0896	0,0587
105,0000	105,1514	104,9841	0,1442	0,0151
120,0000	120,2267	120,0360	0,1889	0,0300
135,0000	135,3088	135,1016	0,2287	0,0753
150,0000	150,4009	150,1559	0,2672	0,1040

Tabel 4.10. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 2, $R_f = 4 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	0,0603	0,0353	-	-
15,0000	15,0300	15,0948	0,1999	0,6320
30,0000	29,9829	30,1080	0,0571	0,3601
45,0000	44,8880	45,0698	0,2489	0,1552
60,0000	59,7149	59,9450	0,4752	0,0916
75,0000	74,4109	74,8302	0,7855	0,2264
90,0000	89,2682	89,7764	0,8131	0,2484
105,0000	104,5501	104,7946	0,4285	0,1956
120,0000	119,8703	119,8653	0,1081	0,1123
135,0000	135,1633	134,9710	0,1210	0,0215
150,0000	150,4245	150,1057	0,2830	0,0705

Tabel 4.11. Hasil estimasi lokasi gangguan 2 fasa-tanah dari bus 2, $R_f = 2 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	0,0659	0,0665	-	-
15,0000	15,1382	15,1411	0,9214	0,9406
30,0000	30,1833	30,1899	0,6111	0,6330
45,0000	45,1863	45,1989	0,4140	0,4419
60,0000	60,1310	60,1536	0,2183	0,2559
75,0000	75,0030	75,0420	0,0040	0,0561
90,0000	89,7933	89,8590	0,2297	0,1566
105,0000	104,5020	104,6146	0,4743	0,3671
120,0000	119,1255	119,2430	0,7287	0,6308
135,0000	133,6795	133,7893	0,9782	0,8968
150,0000	148,1849	148,2944	1,2100	1,1371

Tabel 4.12. Hasil estimasi lokasi gangguan 2 fasa-tanah dari bus 2, $R_f = 4 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	0,1318	0,1323	-	-
15,0000	15,2763	15,2801	1,8420	1,8672
30,0000	30,3663	30,3757	1,2211	1,2523
45,0000	45,3719	45,3913	0,8264	0,8695
60,0000	60,2609	60,2982	0,4349	0,4971
75,0000	75,0049	75,0734	0,0065	0,0978
90,0000	89,5859	89,7071	0,4601	0,3255
105,0000	104,0052	104,2212	0,9475	0,7417
120,0000	118,2517	118,4745	1,4570	1,2713
135,0000	132,3579	132,5609	1,9571	1,8068
150,0000	146,3677	146,5666	2,4216	2,2889

Tabel 4.13. Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 2, $R_f = 0,25 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	-0,3232	-0,1864	-	-
15,0000	14,6865	14,7547	2,0899	1,6353
30,0000	29,6905	29,7351	1,0317	0,8828
45,0000	44,6938	44,7269	0,6805	0,6069
60,0000	59,6974	59,7237	0,5044	0,4604
75,0000	74,7016	74,7237	0,3978	0,3684
90,0000	89,7068	89,7260	0,3257	0,3044
105,0000	104,7132	104,7304	0,2731	0,2568
120,0000	119,7209	119,7368	0,2326	0,2194
135,0000	134,7301	134,7452	0,1999	0,1888
150,0000	149,7412	149,7557	0,1726	0,1628

Tabel 4.14. Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 2, $R_f = 0,5 \text{ ohm}$

Lx (km)	Lx1 (km)	Lx2 (km)	Error Lx1 (%)	Error Lx2 (%)
0,0000	-0,6464	-0,3702	-	-
15,0000	14,3730	14,5105	4,1797	3,2635
30,0000	29,3810	29,4709	2,0634	1,7636
45,0000	44,3876	44,4542	1,3610	1,2129
60,0000	59,3947	59,4478	1,0088	0,9204
75,0000	74,4033	74,4476	0,7956	0,7365
90,0000	89,4137	89,4522	0,6515	0,6087
105,0000	104,4264	104,4609	0,5463	0,5134
120,0000	119,4418	119,4736	0,4652	0,4387
135,0000	134,4603	134,4904	0,3998	0,3775
150,0000	149,4823	149,5115	0,3451	0,3257

Tabel 4.15. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 3, $R_f = 2 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	149,5354	149,5316	0,3097	0,3123
135,0000	134,5546	134,6264	0,3299	0,2767
120,0000	119,5208	119,7908	0,3994	0,1743
105,0000	104,4915	105,0783	0,4843	0,0746
90,0000	89,4378	90,4761	0,6246	0,5290
75,0000	74,3200	75,9900	0,9067	1,3199
60,0000	59,0583	61,4776	1,5695	2,4626
45,0000	43,4177	47,0307	3,5163	4,5127
30,0000	28,8133	32,5270	3,9557	8,4233
15,0000	14,9770	16,9482	0,1536	12,9879
0,0000	-1,9208	1,6451	-	-

Tabel 4.16. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke tanah dari bus 3, $R_f = 4 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	149,5354	149,0541	0,6213	0,6306
135,0000	134,1105	134,1465	0,6589	0,6322
120,0000	119,0402	119,2737	0,7998	0,6053
105,0000	103,9809	104,5273	0,9705	0,4502
90,0000	88,8739	89,8620	1,2512	0,1533
75,0000	73,6390	75,2382	1,8147	0,3177
60,0000	58,1166	60,6225	3,1390	1,0374
45,0000	41,8354	45,9982	7,0325	2,2183
30,0000	27,6267	31,4069	7,9108	4,6896
15,0000	14,9568	17,3284	0,2880	15,5227
0,0000	-3,8103	2,3622	-	-

Tabel 4.17. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 3, $R_f = 2 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	149,9736	149,9801	0,0176	0,0132
135,0000	134,9900	134,9517	0,0074	0,0358
120,0000	120,0557	119,9459	0,0464	0,0451
105,0000	105,1292	104,9698	0,1231	0,0287
90,0000	90,0820	90,0345	0,0912	0,0384
75,0000	74,9983	75,0632	0,0023	0,0843
60,0000	59,9194	60,0528	0,1343	0,0881
45,0000	44,8486	45,0159	0,3364	0,0353
30,0000	29,7733	29,9640	0,7557	0,1199
15,0000	14,6912	14,8984	2,0586	0,6773
0,0000	-0,4009	-0,1559	-	-

Tabel 4.18. Hasil estimasi lokasi gangguan fasa ke fasa dari bus 3, $R_f = 4 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	149,9397	149,9648	0,0402	0,0235
135,0000	134,9700	134,9052	0,0222	0,0702
120,0000	120,0171	119,8920	0,0143	0,0900
105,0000	105,1120	104,9302	0,1067	0,0665
90,0000	90,2851	90,0550	0,3168	0,0611
75,0000	75,5891	75,1698	0,7855	0,2264
60,0000	60,7318	60,2236	1,2196	0,3726
45,0000	45,4499	45,2054	0,9997	0,4564
30,0000	30,1297	30,1347	0,4325	0,4490
15,0000	14,8367	15,0290	1,0889	0,1934
0,0000	-0,4245	-0,1057	-	-

Tabel 4.19. Hasil estimasi lokasi gangguan 2 fasa-tanah dari bus 3, $R_f = 2 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	149,9341	149,9355	0,0439	0,0433
135,0000	134,8618	134,8589	0,1024	0,1045
120,0000	119,8167	119,8101	0,1528	0,1582
105,0000	104,8137	104,8011	0,1774	0,1894
90,0000	89,8690	89,8464	0,1455	0,1706
75,0000	74,9970	74,9580	0,0040	0,0561
60,0000	60,2067	60,1410	0,3446	0,2349
45,0000	45,4980	45,3854	1,1068	0,8565
30,0000	30,8745	30,7570	2,9150	2,5233
15,0000	16,3205	16,2107	8,8034	8,0714
0,0000	1,8151	1,7056	-	-

Tabel 4.20. Hasil estimasi lokasi gangguan 2 fasa-tanah dari bus 3, $R_f = 4 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	149,8682	149,8677	0,0878	0,0882
135,0000	134,7237	134,7199	0,2047	0,2075
120,0000	119,6337	119,6243	0,3053	0,3131
105,0000	104,6281	104,6087	0,3542	0,3727
90,0000	89,7391	89,7018	0,2899	0,3314
75,0000	74,9951	74,9266	0,0065	0,0978
60,0000	60,4141	60,2929	0,6902	0,4882
45,0000	45,9948	45,7788	2,2108	1,7306
30,0000	31,7483	31,5255	5,8278	5,0852
15,0000	17,6421	17,4391	17,6137	16,2609
0,0000	3,6323	3,4334	-	-

Tabel 4.21. Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 3, $R_f = 0,25 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	150,3232	150,1864	0,2155	0,1242
135,0000	135,3135	135,2453	0,2322	0,1817
120,0000	120,3095	120,2649	0,2579	0,2207
105,0000	105,3062	105,2731	0,2916	0,2601
90,0000	90,3026	90,2763	0,3363	0,3070
75,0000	75,2984	75,2763	0,3978	0,3684
60,0000	60,2932	60,2740	0,4886	0,4566
45,0000	45,2868	45,2696	0,6373	0,5991
30,0000	30,2791	30,2632	0,9304	0,8775
15,0000	15,2699	15,2548	1,7991	1,6989
0,0000	0,2588	0,2443	-	-

Tabel 4.22. Hasil estimasi lokasi gangguan tiga fasa dari bus 3, $R_f = 0,5 \text{ ohm}$

Ly (km)	Ly1 (km)	Ly2 (km)	Error Ly1 (%)	Error Ly2 (%)
150,0000	150,6464	150,3702	0,4309	0,2468
135,0000	135,6270	135,4895	0,4644	0,3626
120,0000	120,6190	120,5291	0,5159	0,4409
105,0000	105,6124	105,5458	0,5833	0,5198
90,0000	90,6053	90,5522	0,6725	0,6136
75,0000	75,5967	75,5524	0,7956	0,7365
60,0000	60,5863	60,5478	0,9772	0,9130
45,0000	45,5736	45,5391	1,2747	1,1980
30,0000	30,5582	30,5264	1,8607	1,7548
15,0000	15,5397	15,5096	3,5982	3,3976
0,0000	0,5177	0,4885	-	-

Keterangan tabel :

L_x = Jarak pengetesan dari terminal X.

L_{x1} = Jarak titik gangguan dari X berdasarkan hasil estimasi dengan mengabaikan arus kapasitansi saluran.

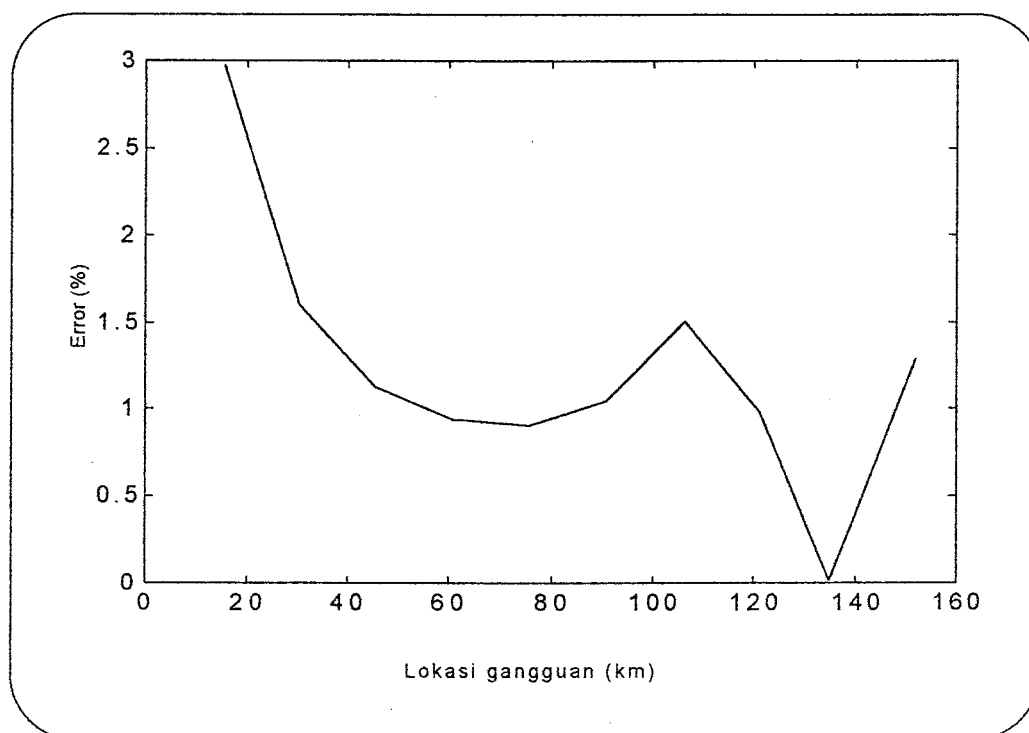
L_{x2} = Jarak titik gangguan dari X berdasarkan hasil estimasi dengan menghitung arus kapasitansi saluran.

L_y = Jarak pengetesan dari terminal Y.

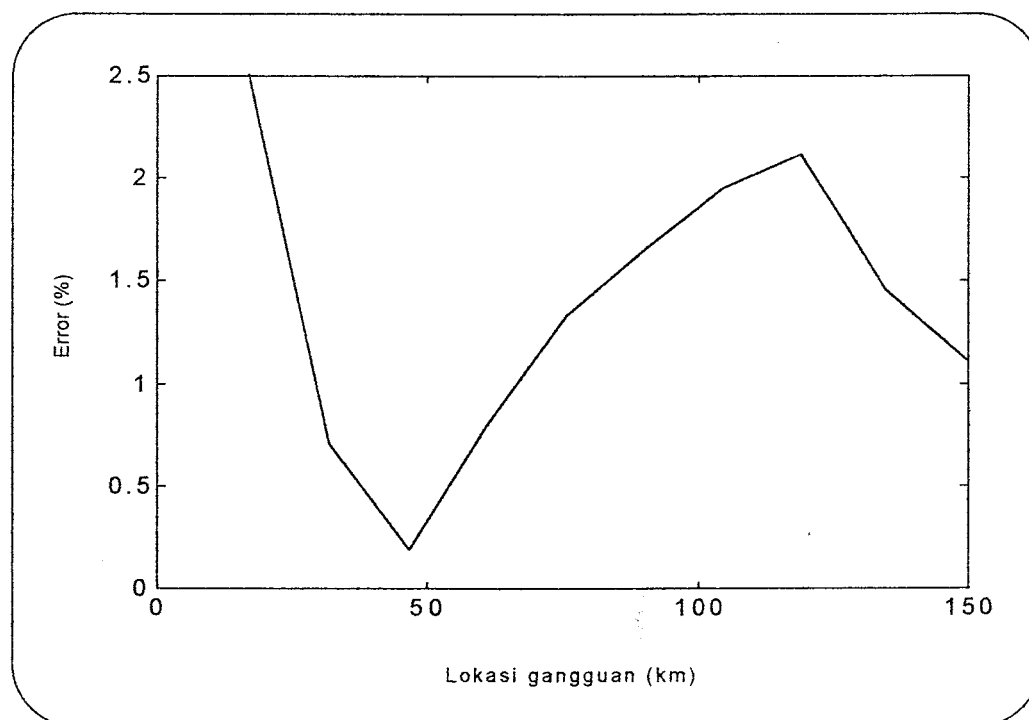
L_{y1} = Jarak titik gangguan dari Y berdasarkan hasil estimasi dengan mengabaikan arus kapasitansi saluran.

L_{y2} = Jarak titik gangguan dari Y berdasarkan hasil estimasi dengan menghitung arus kapasitansi saluran.

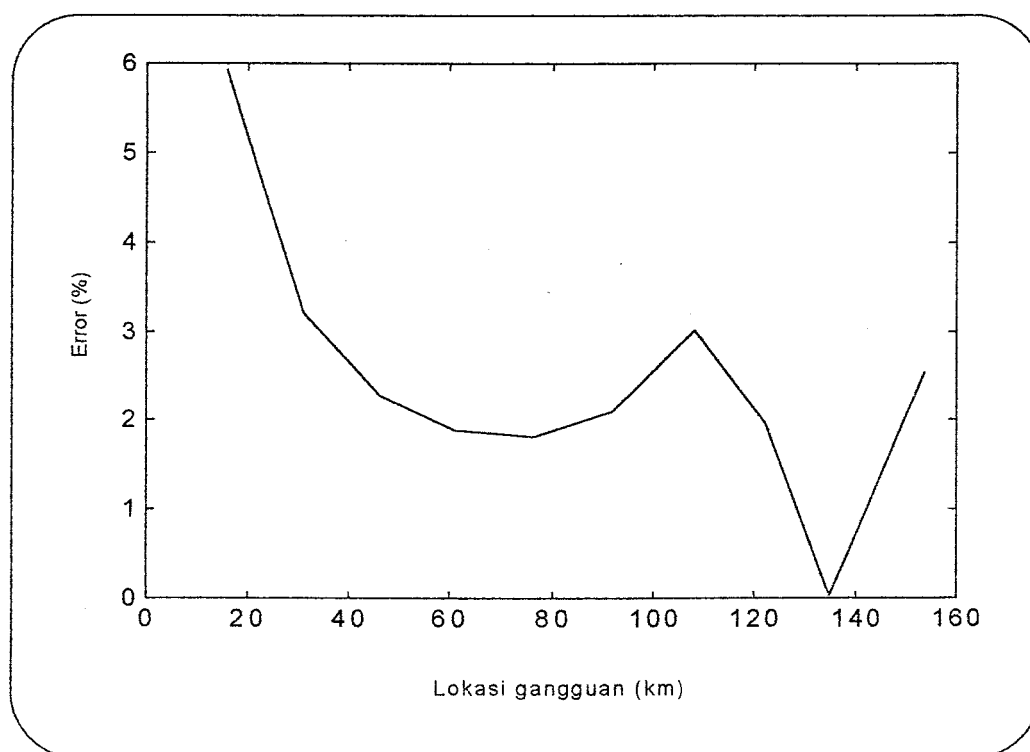
Berikut gambar grafik estimasi lokasi gangguan dengan persentase error (pada sumbu X) terhadap jarak estimasi lokasi gangguan (pada sumbu Y).

DARI BUS 2

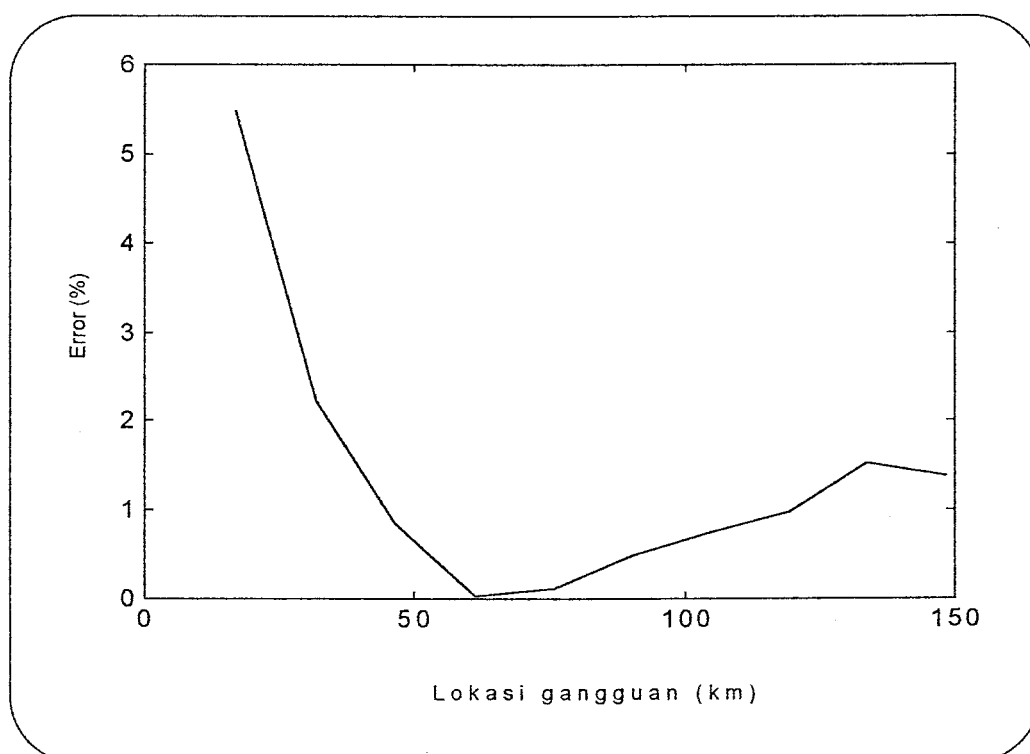
Gambar 4.6. *Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



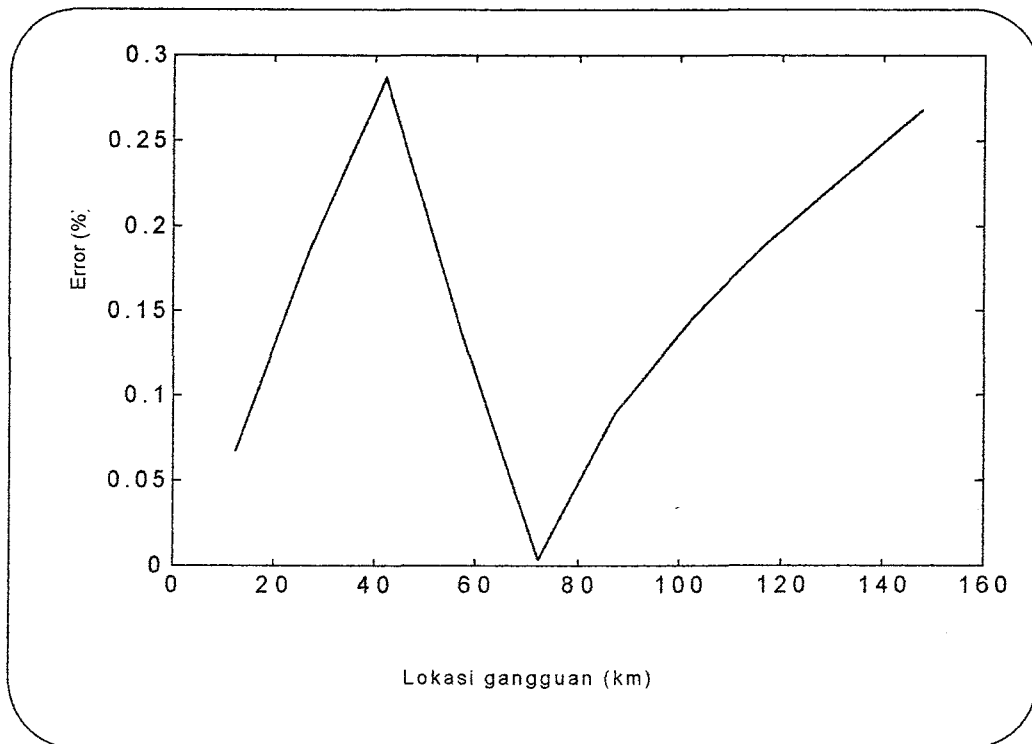
Gambar 4.7. *Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



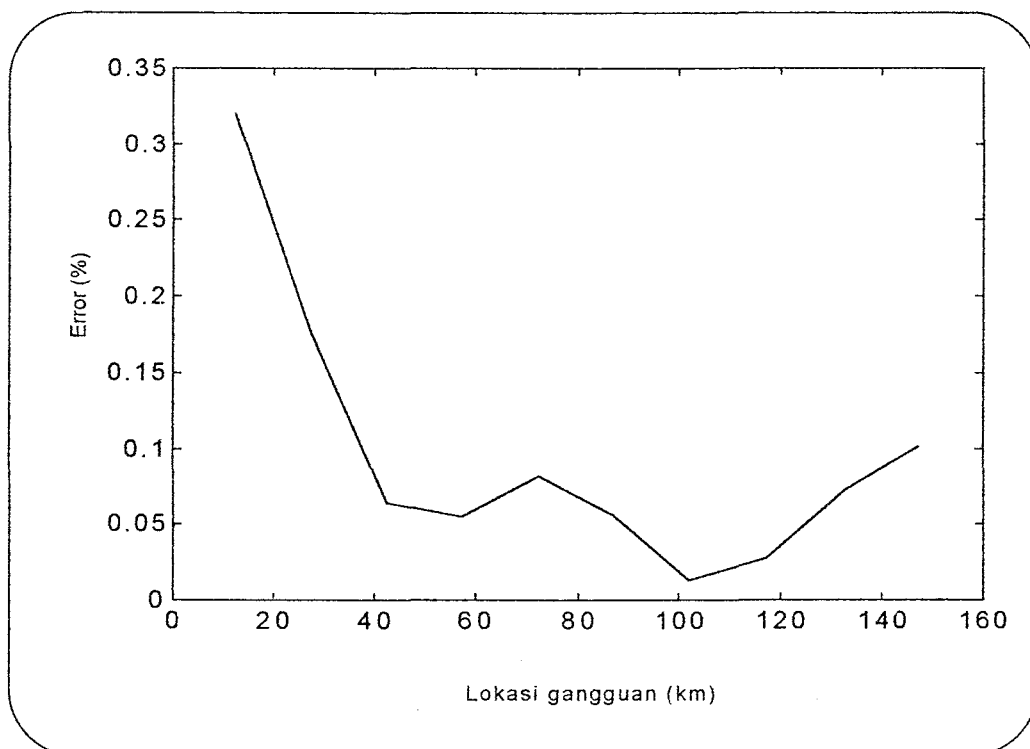
Gambar 4.8. *Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



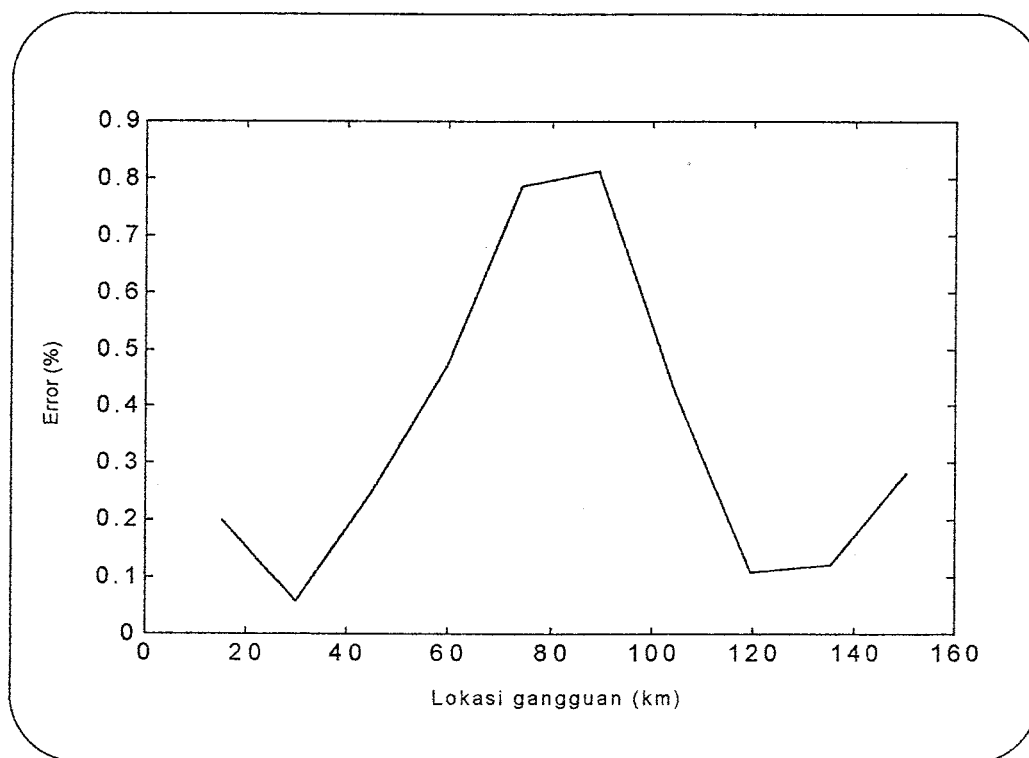
Gambar 4.9. *Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



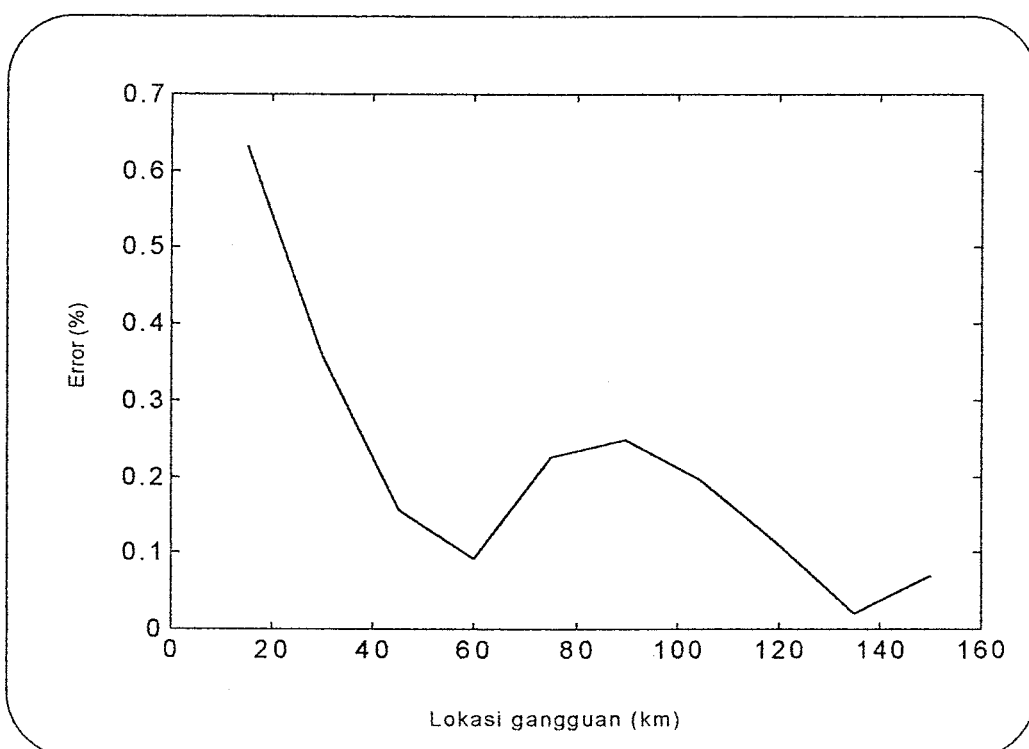
Gambar 4.10. *Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



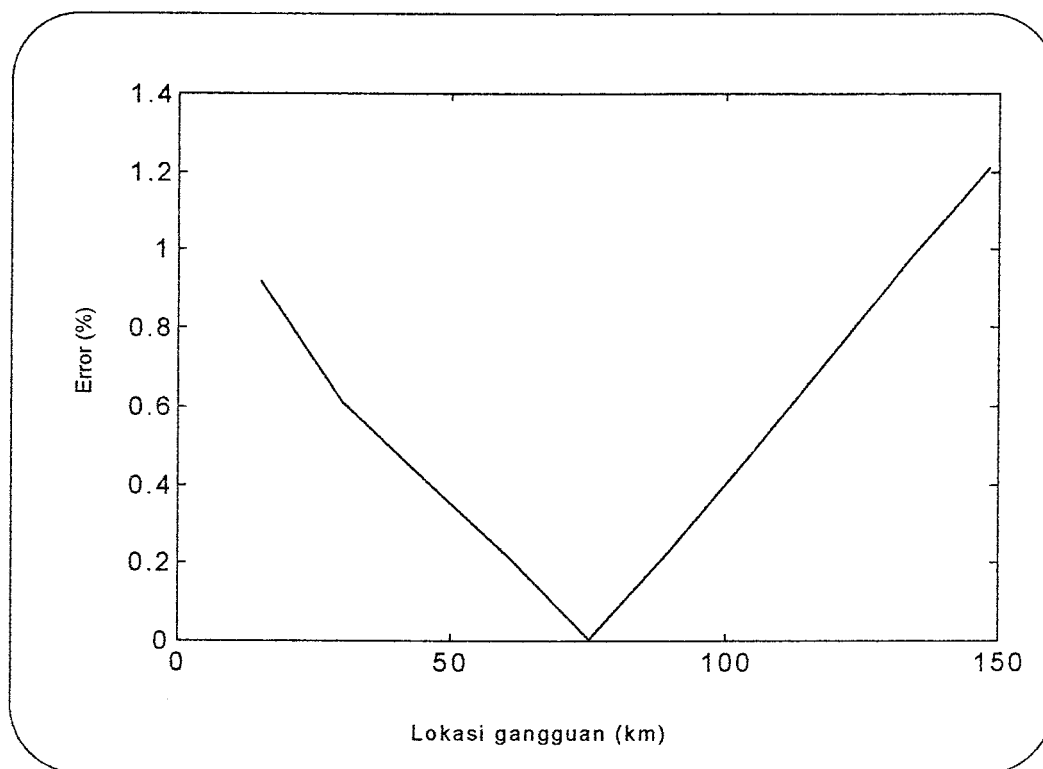
Gambar 4.11. *Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



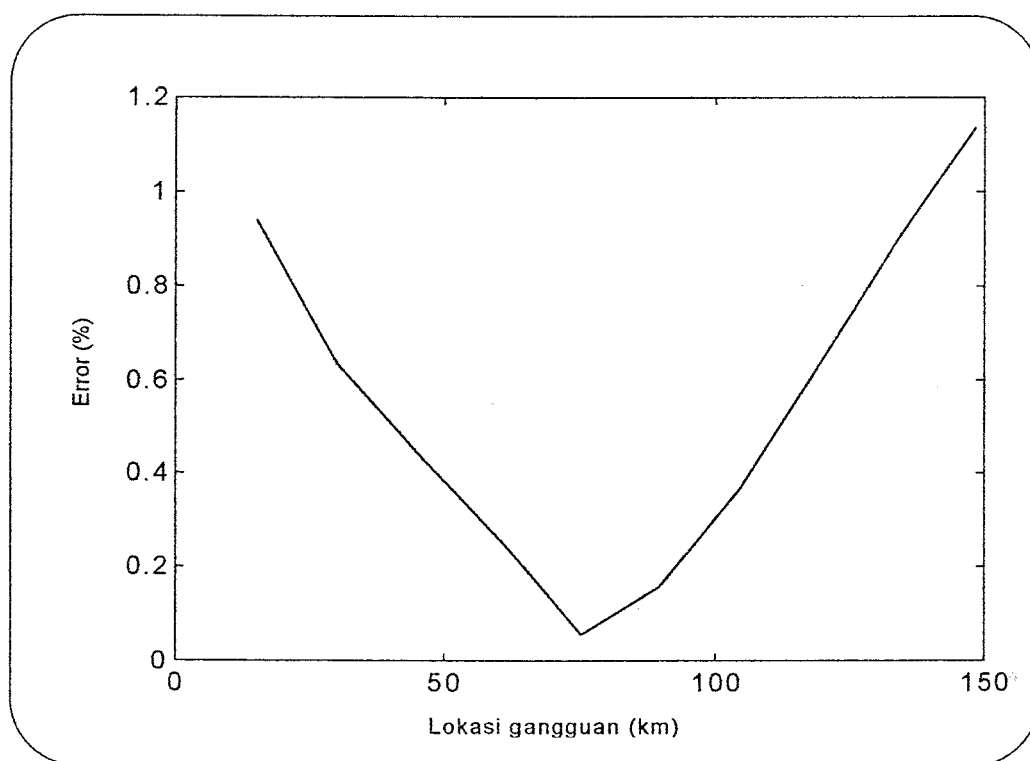
Gambar 4.12. *Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



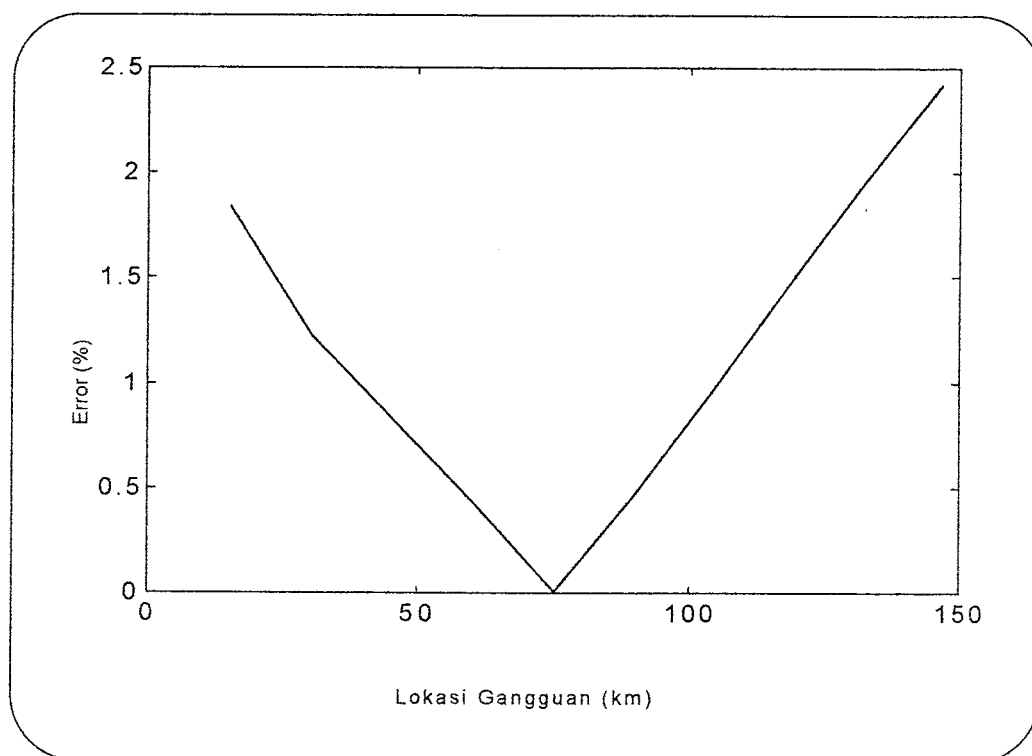
Gambar 4.13. *Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



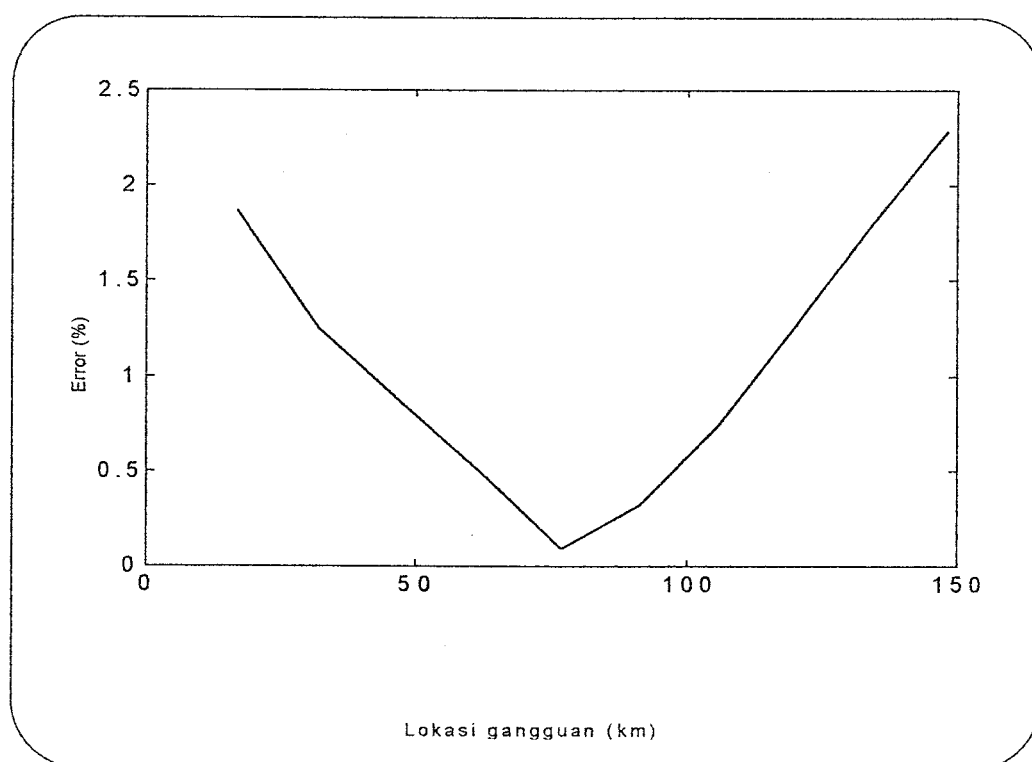
Gambar 4.14. *Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



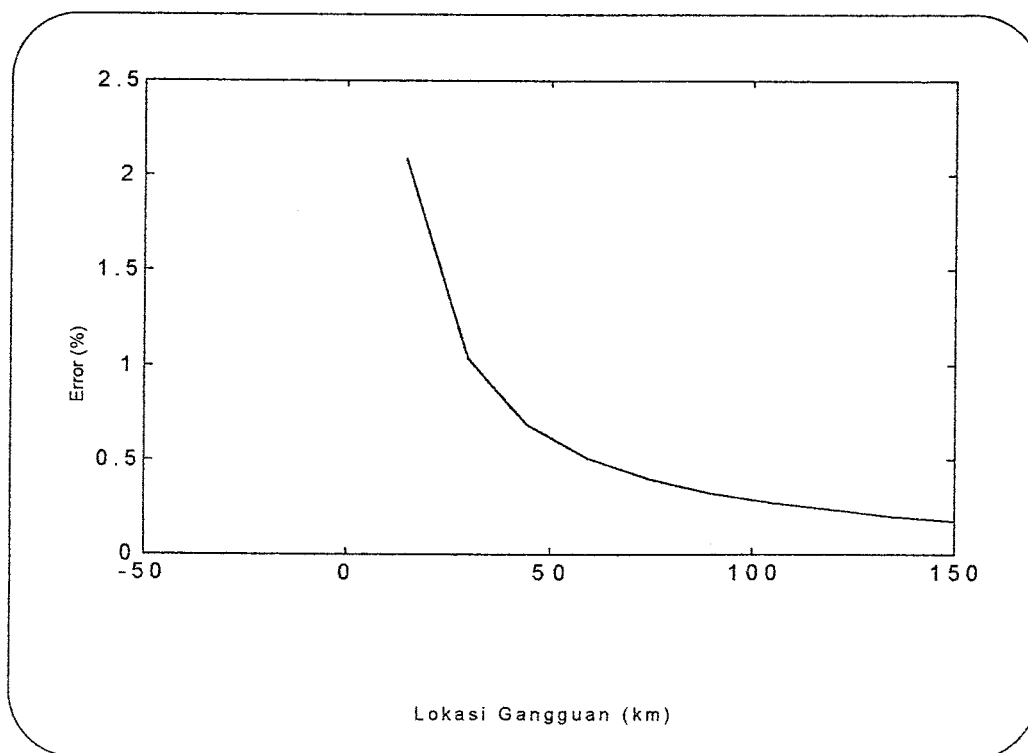
Gambar 4.15. *Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



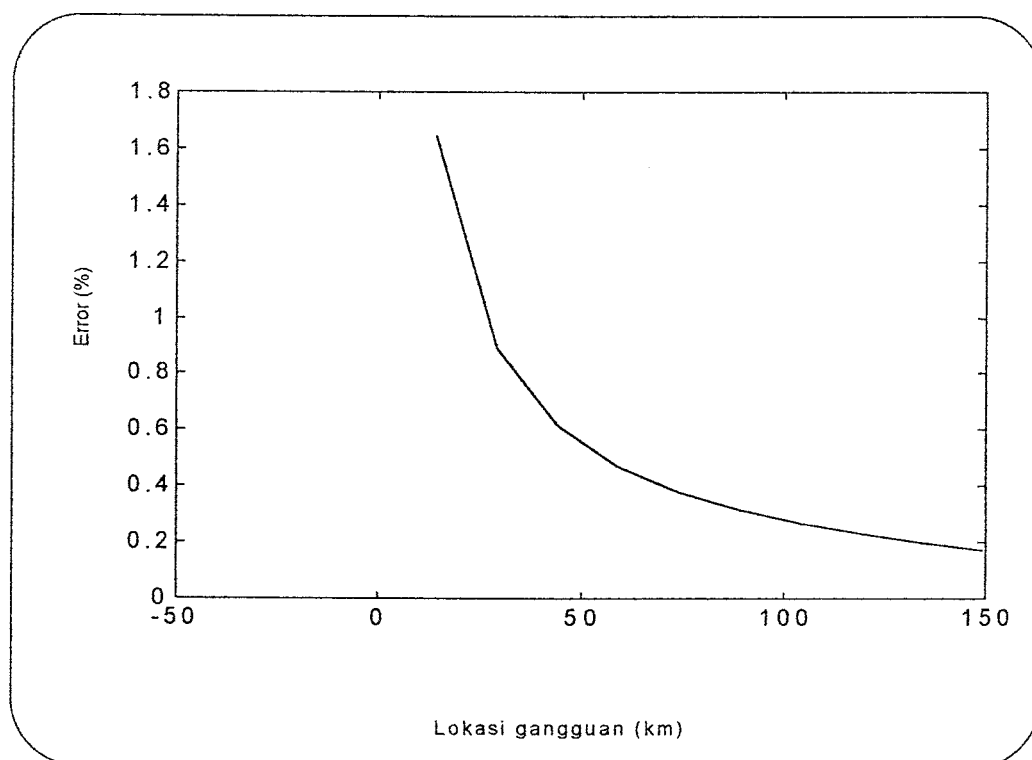
Gambar 4.16. *Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



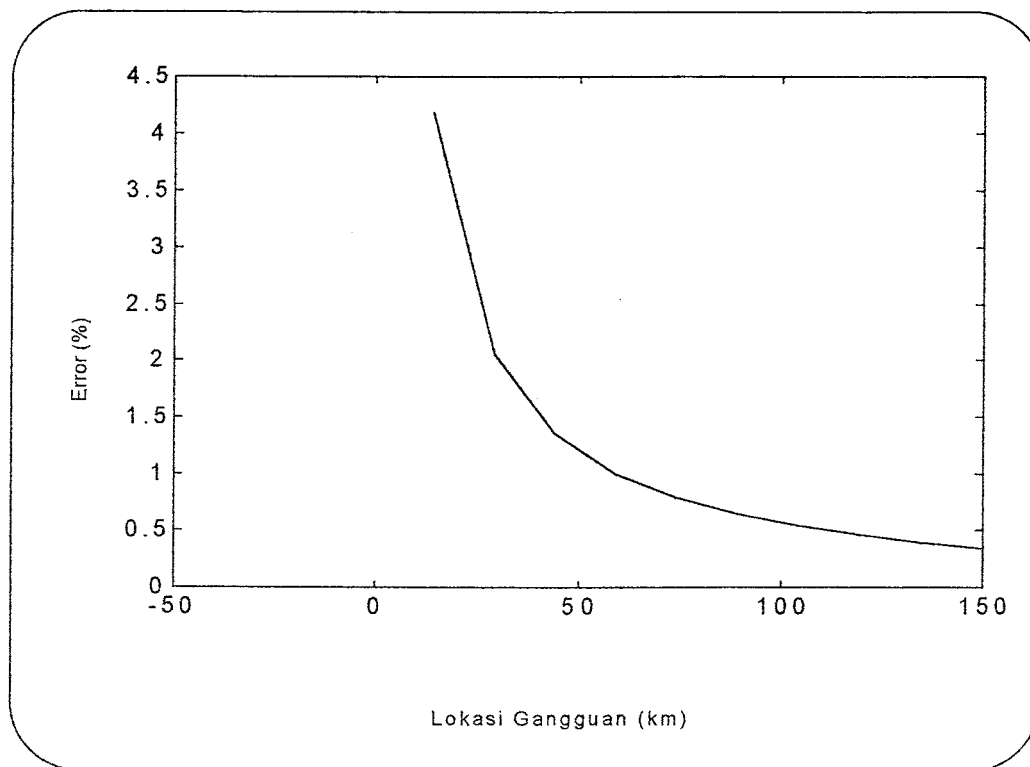
Gambar 4.17. *Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



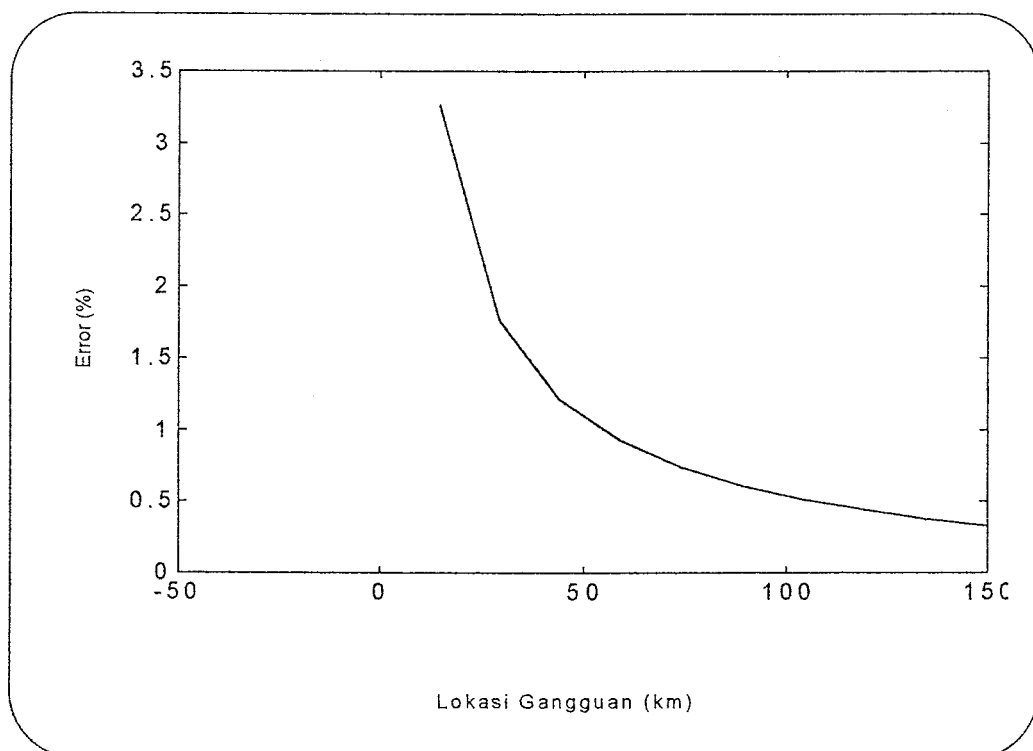
Gambar 4.18. *Hubung singkat tiga fasa simetri tanpa kapasitansi, $R_f = 0.25$ ohm*



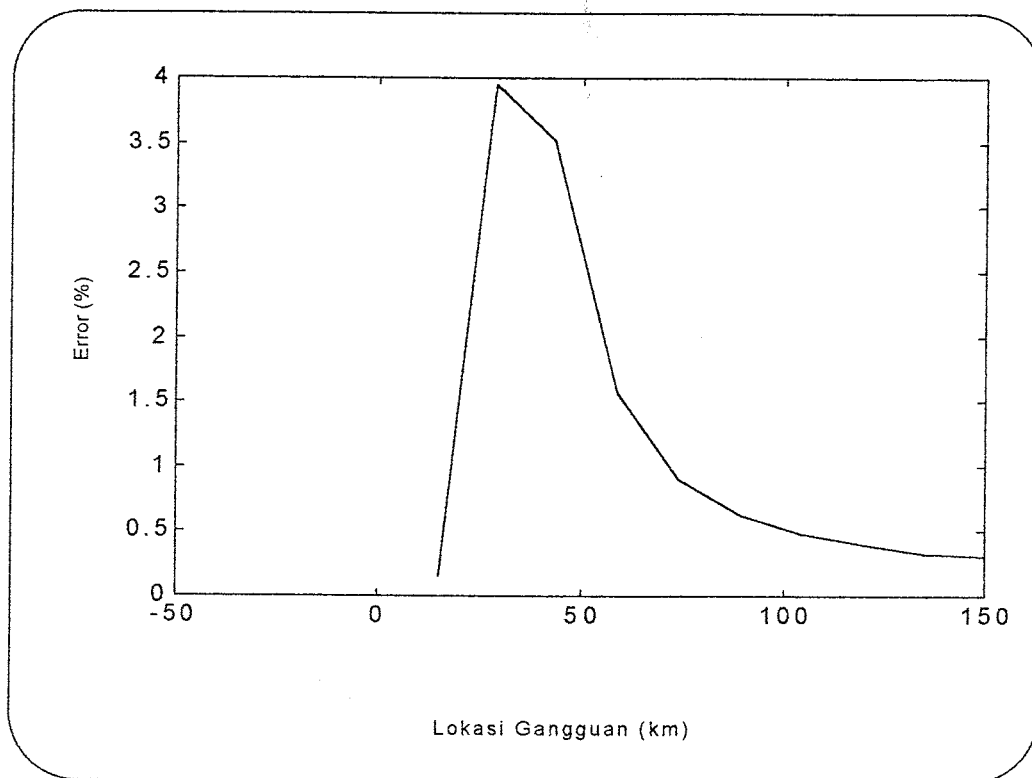
Gambar 4.19. *Hubung singkat tiga fasa simetri dengan kapasitansi, $R_f = 0.25$ ohm*



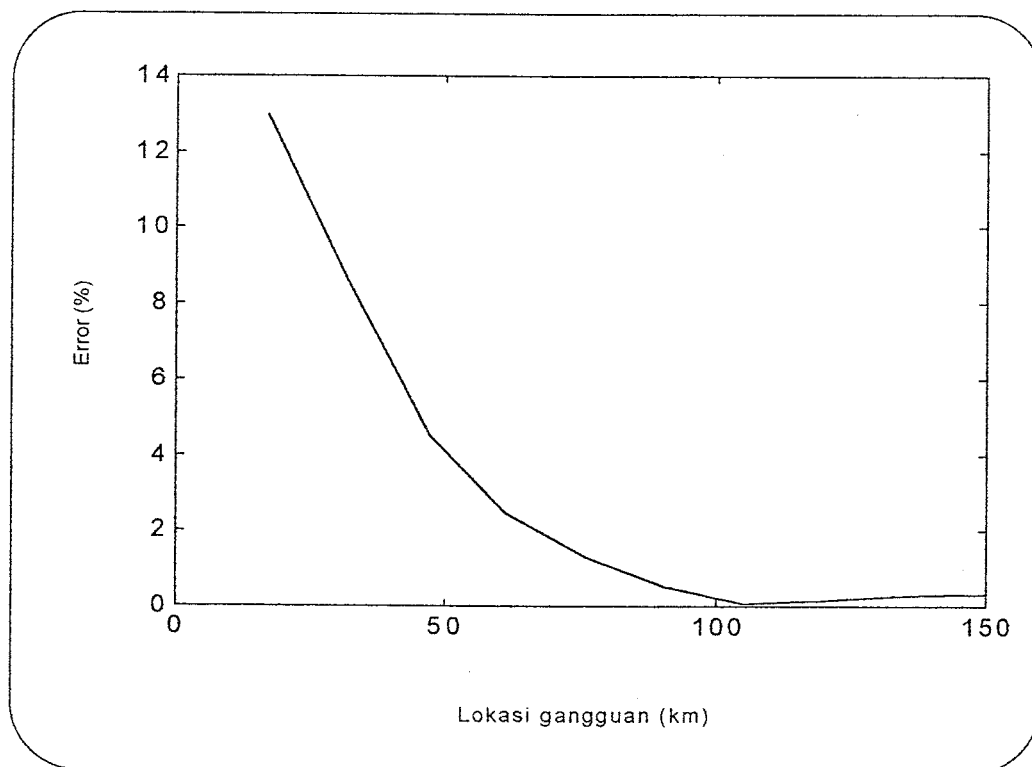
Gambar 4.20. *Hubung singkat tiga fasa simetri tanpa kapasitansi, $R_f = 0.5 \text{ ohm}$*



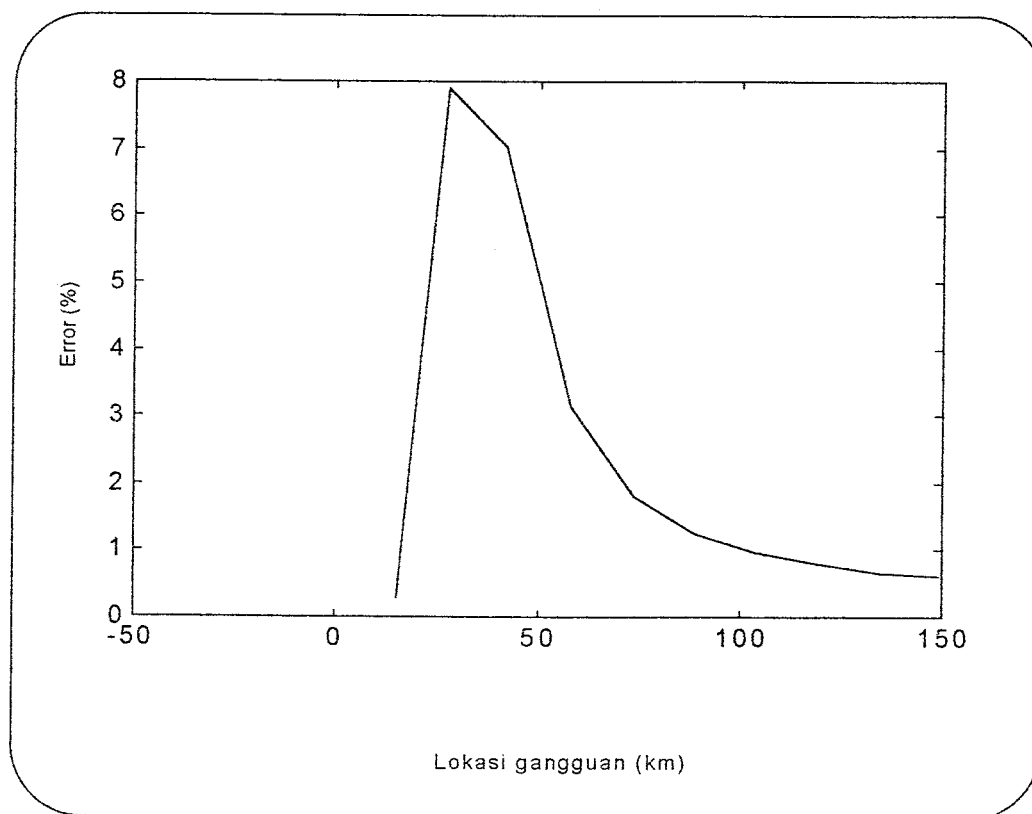
Gambar 4.21. *Hubung singkat tiga fasa simetri dengan kapasitansi, $R_f = 0.5 \text{ ohm}$*

DARI BUS 3

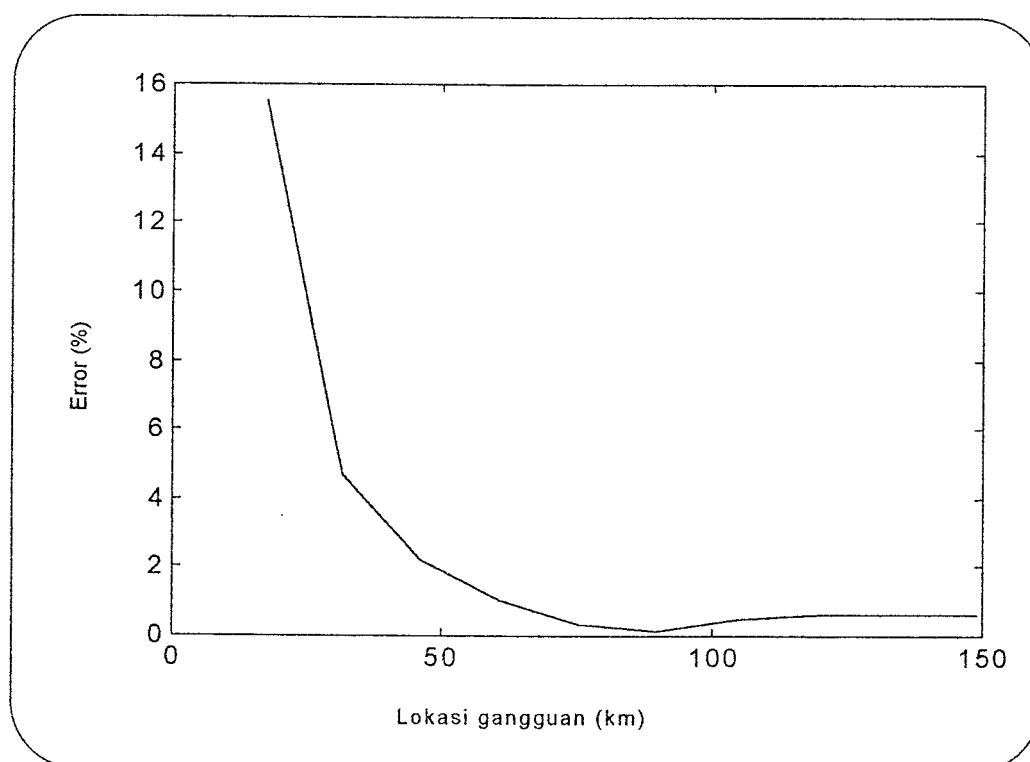
Gambar 4.22. *Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ Ohm}$*



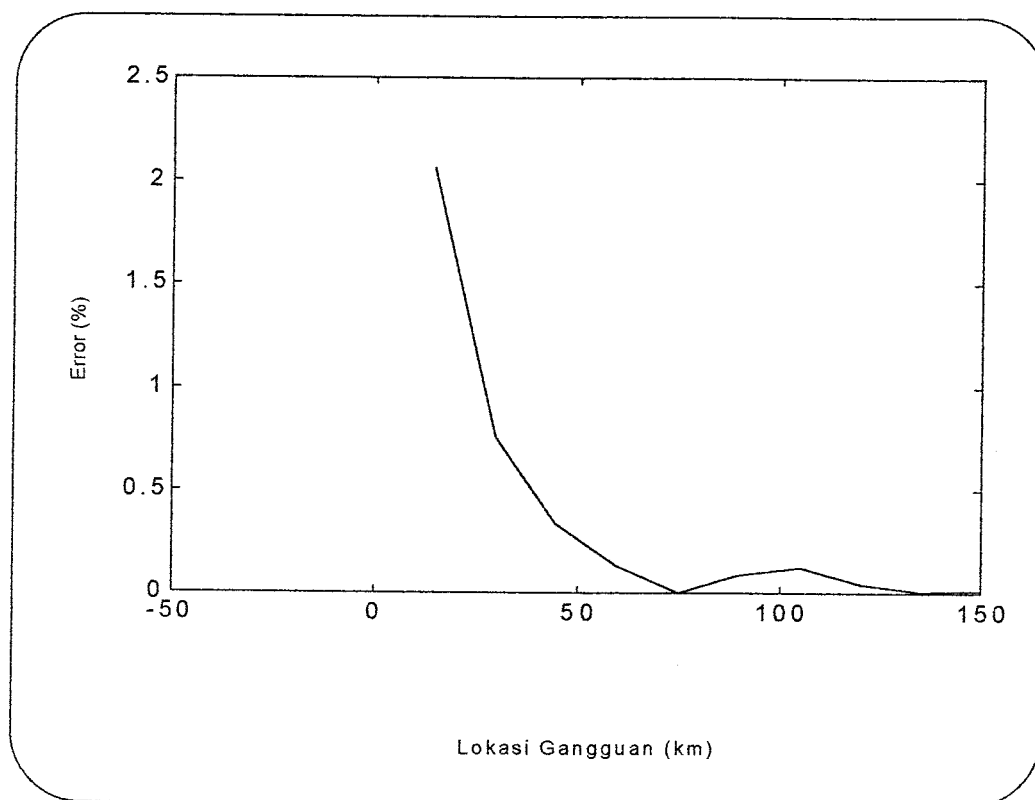
Gambar 4.23. *Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



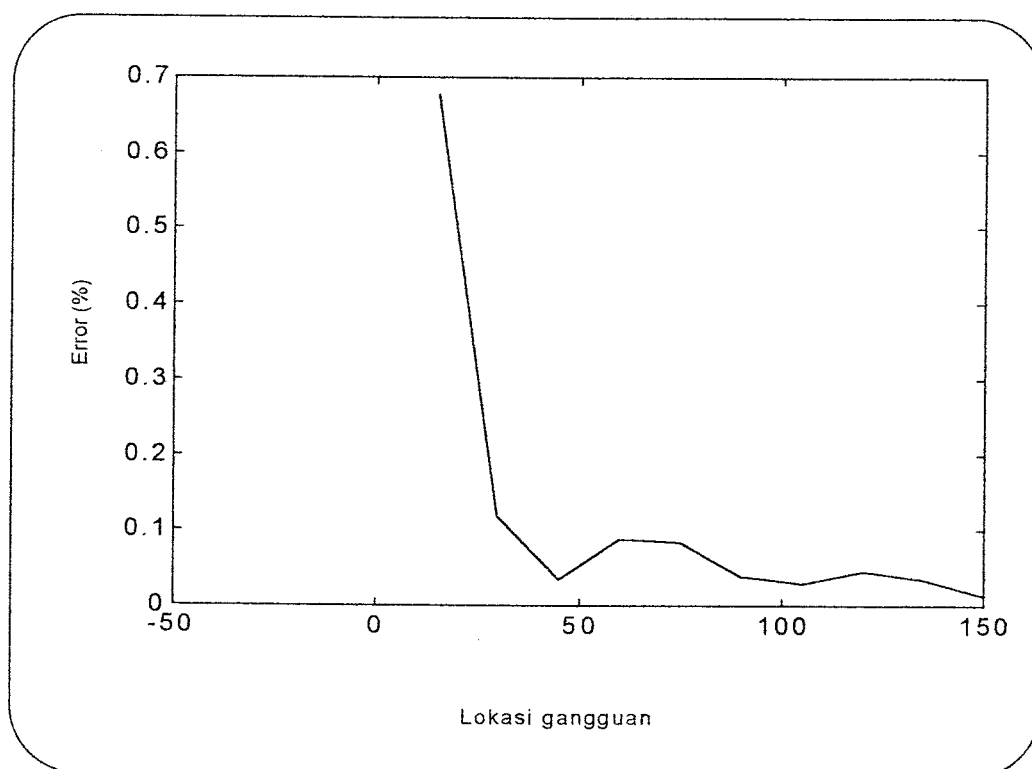
Gambar 4.24. *Hubung singkat fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



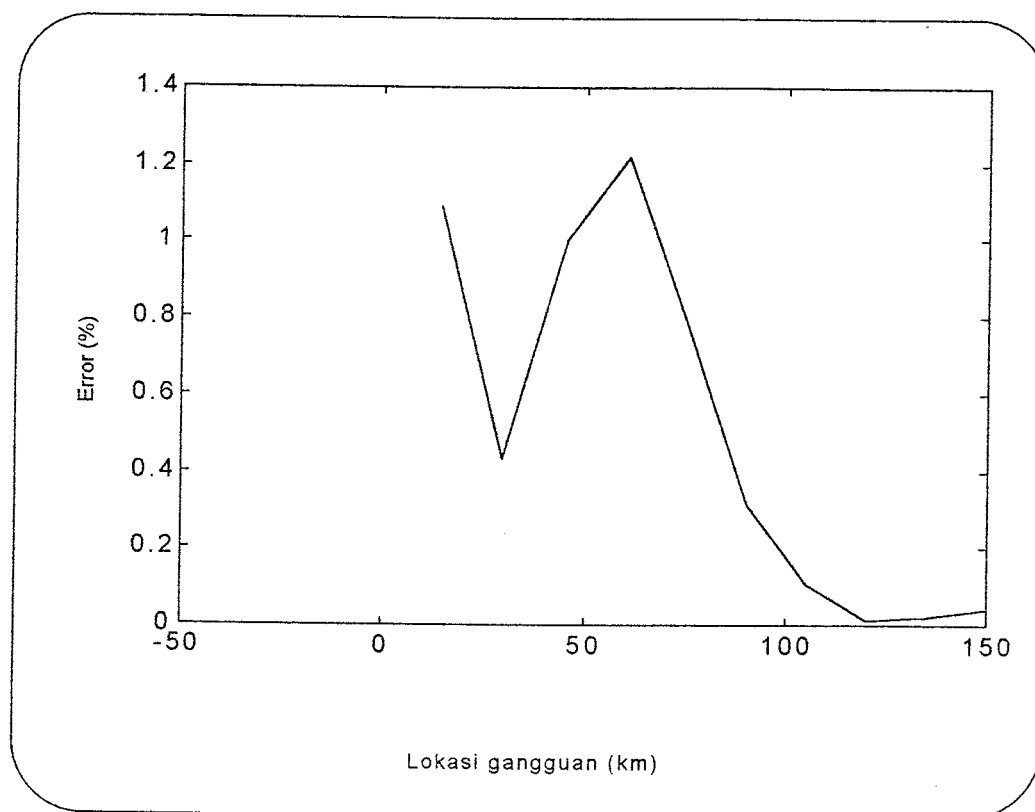
Gambar 4.25. *Hubung singkat fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



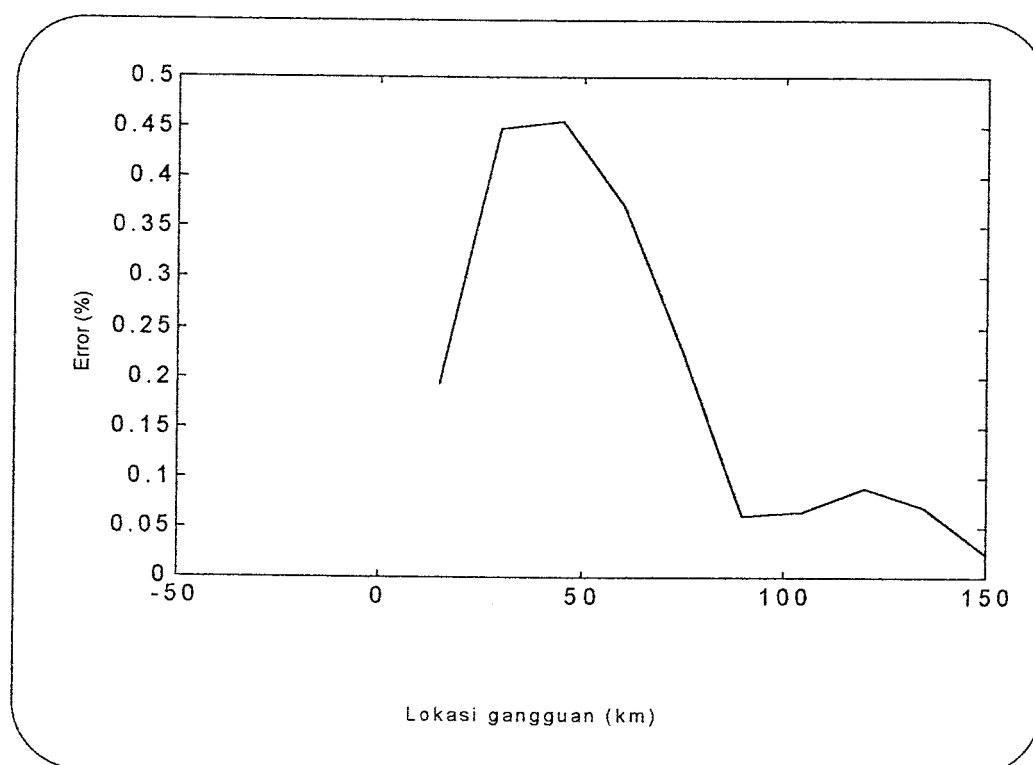
Gambar 4.26. *Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



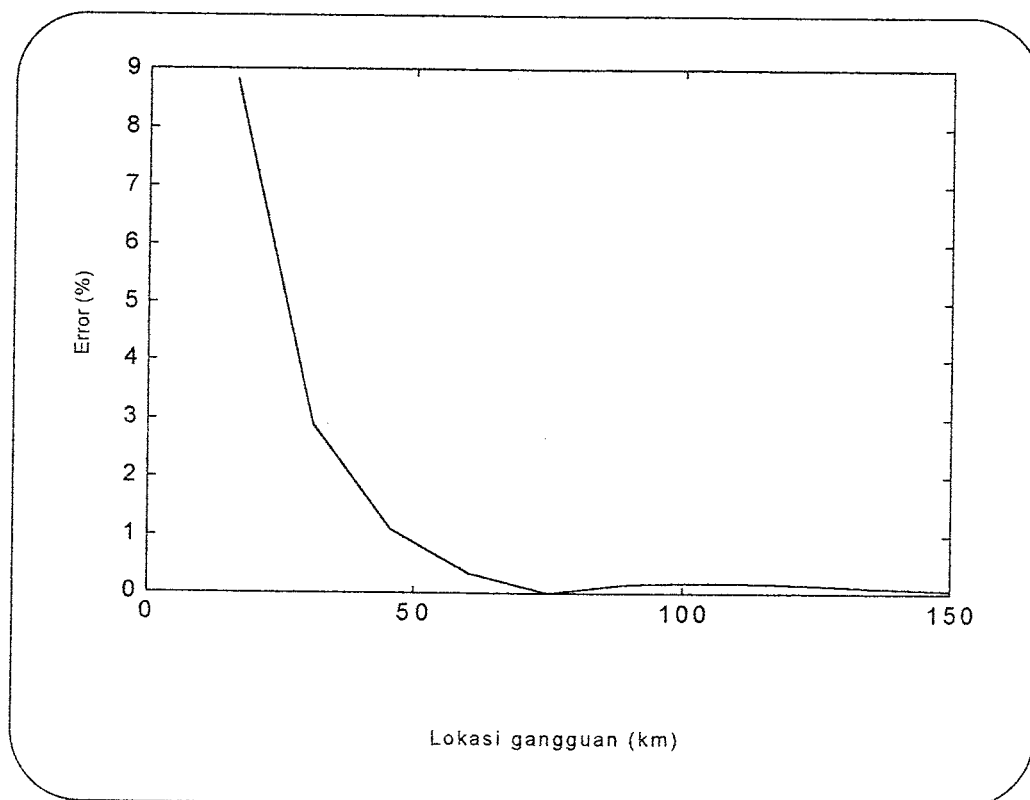
Gambar 4.27. *Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



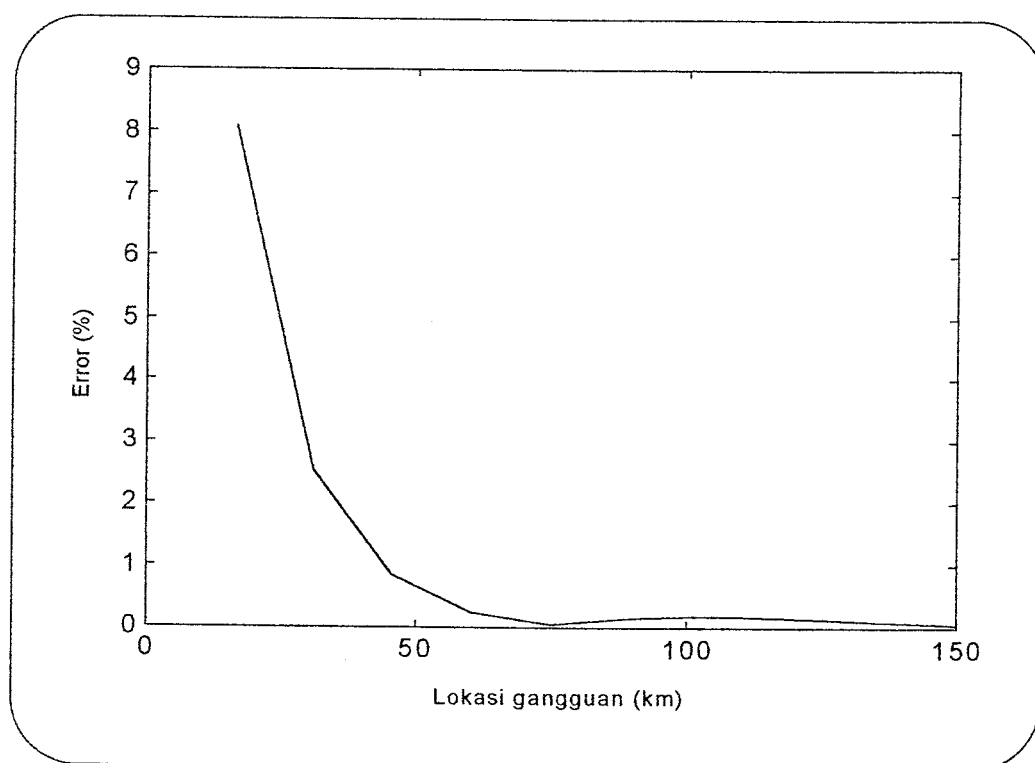
Gambar 4.28. *Hubung singkat fasa ke fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



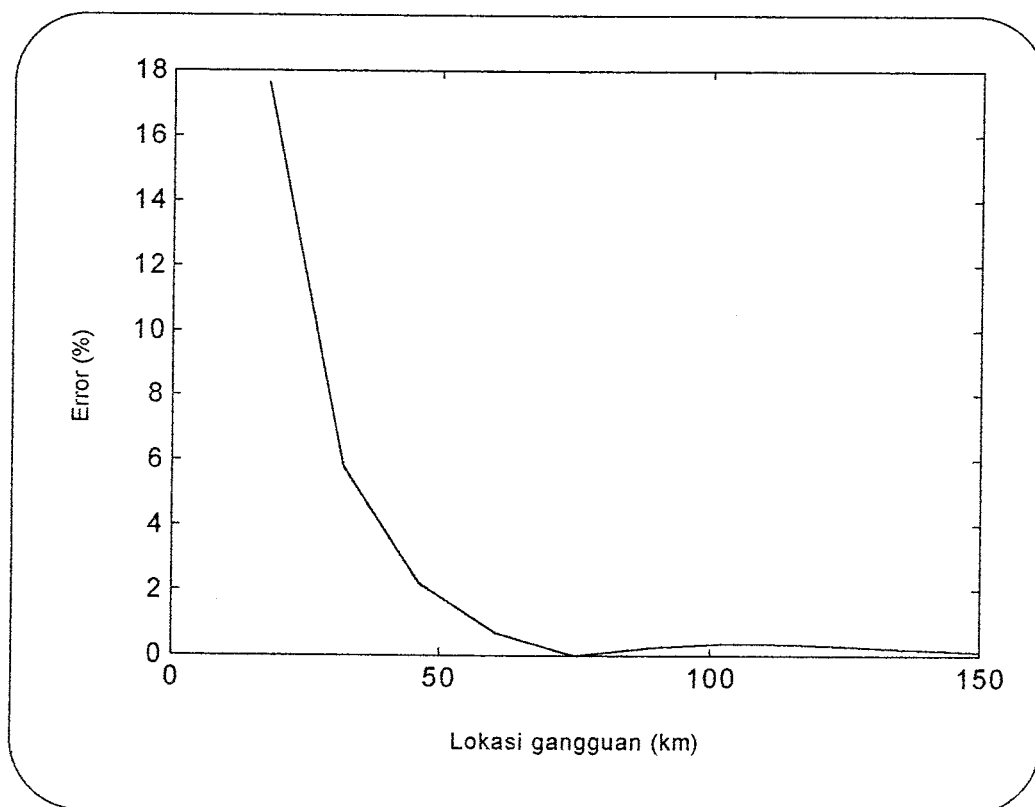
Gambar 4.29. *Hubung singkat fasa ke fasa dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



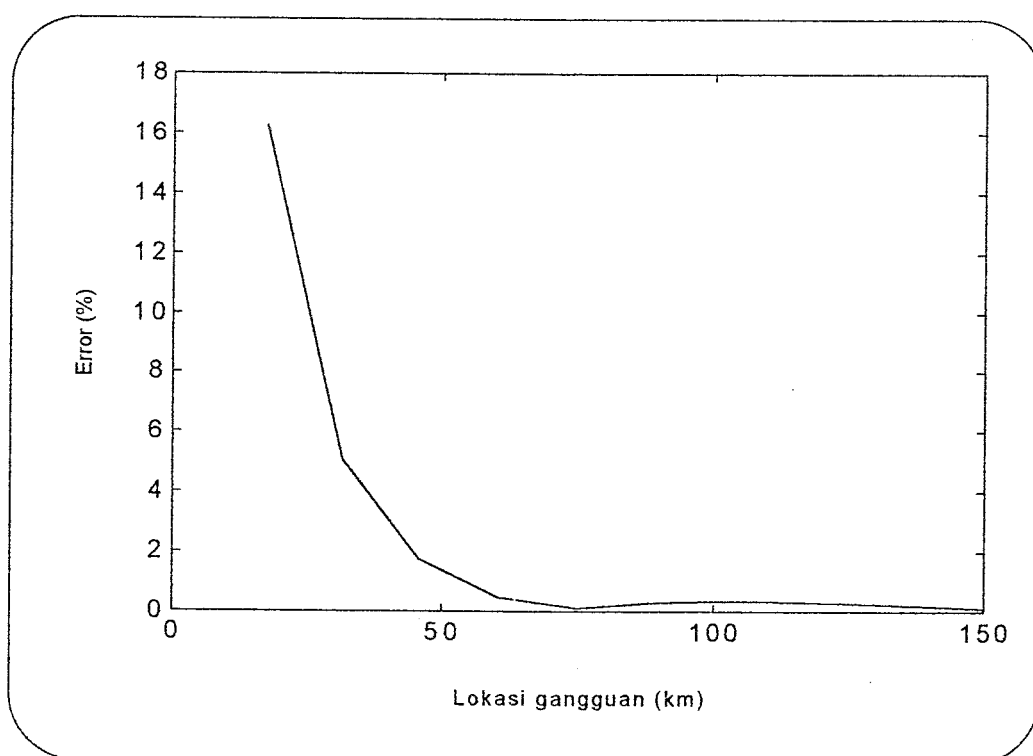
Gambar 4.30. *Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 2 \text{ Ohm}$*



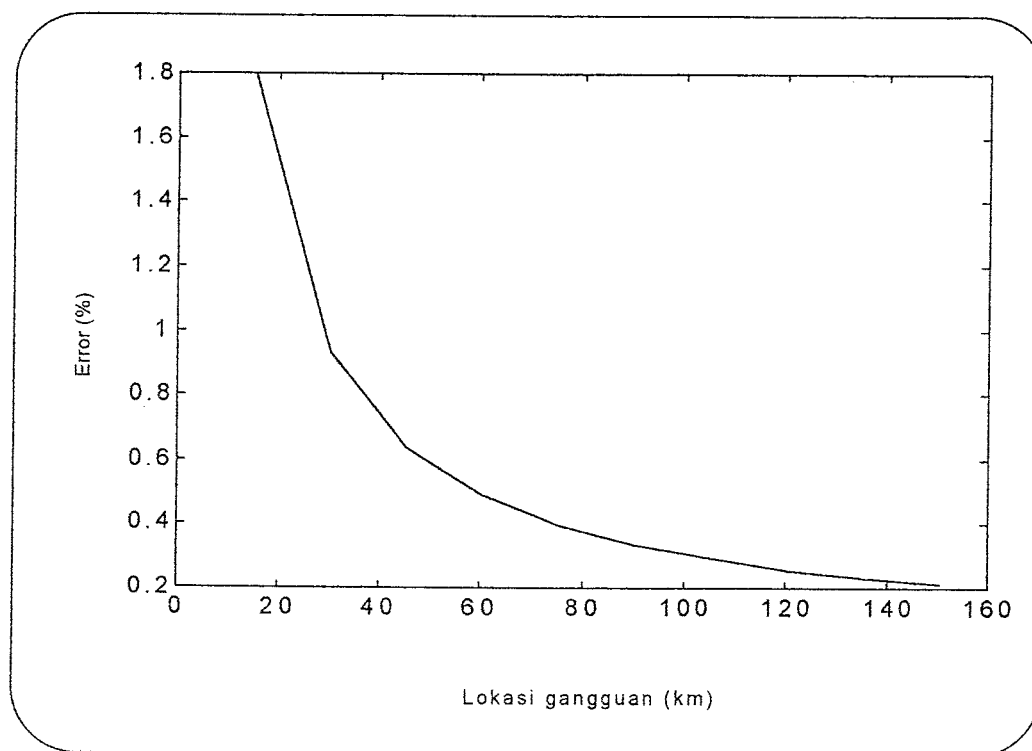
Gambar 4.31. *Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 2 \text{ ohm}$*



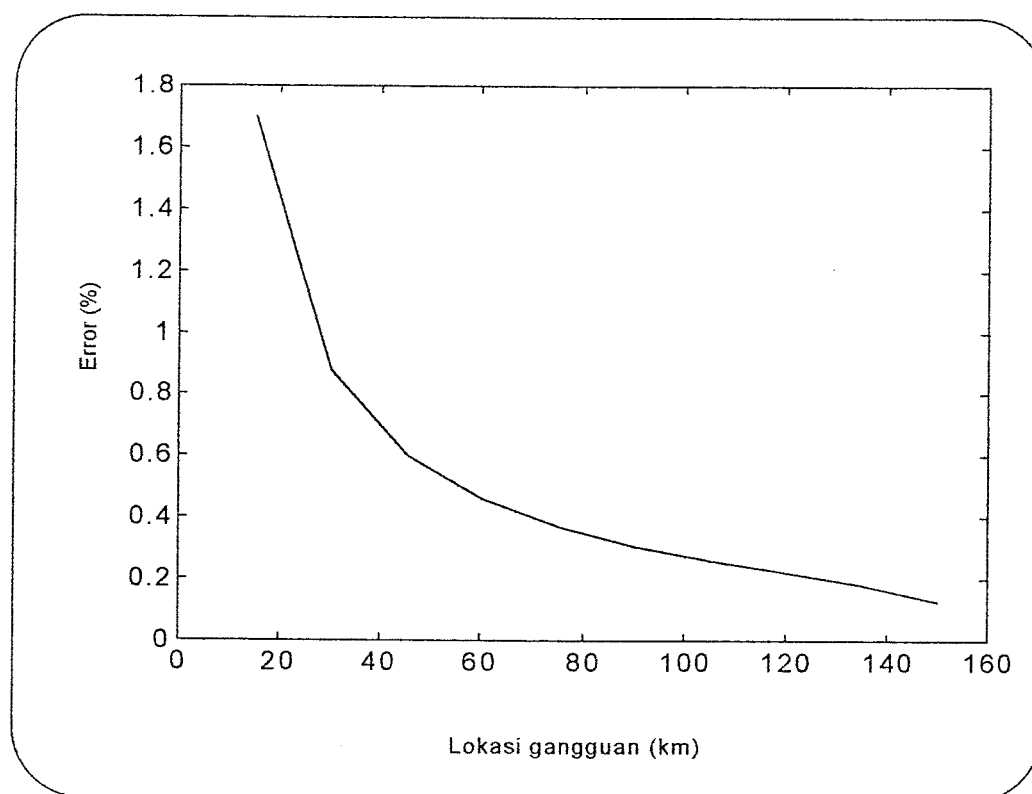
Gambar 4.32. *Hubung singkat dua fasa ke tanah tanpa kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



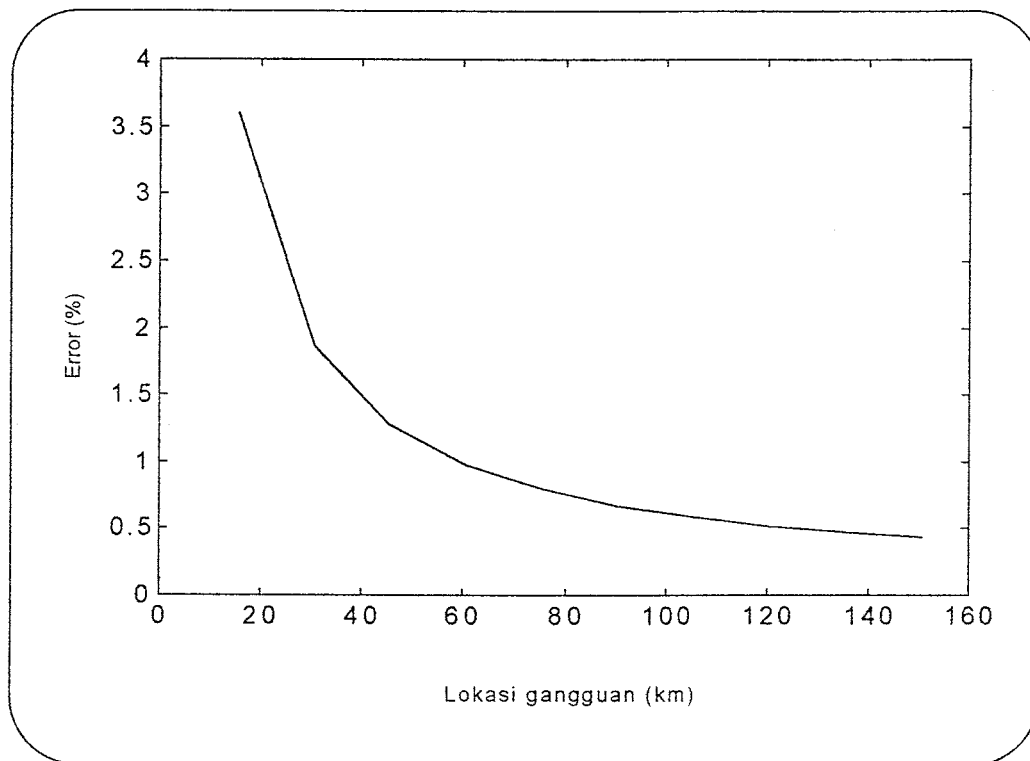
Gambar 4.33. *Hubung singkat dua fasa ke tanah dengan kapasitansi, $R_f = 4 \text{ ohm}$*



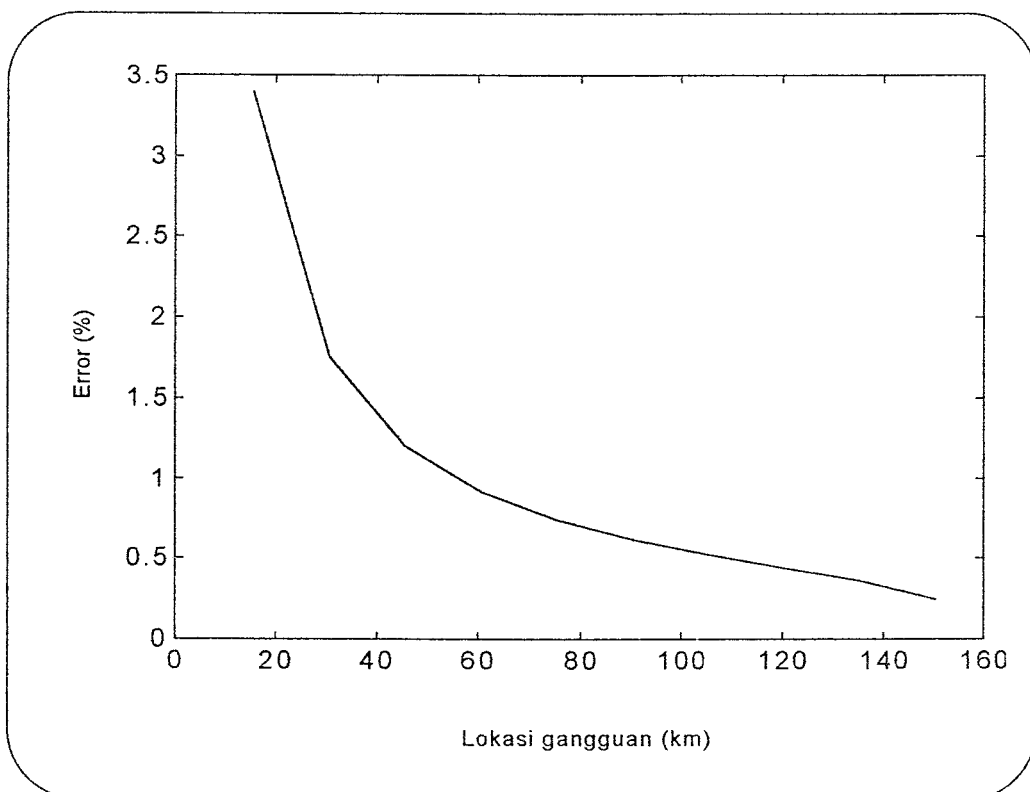
Gambar 4.34. *Hubung singkat tiga fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 0.25 \text{ ohm}$*



Gambar 4.35. *Hubung singkat tiga fasa dengan kapasitansi, $R_f = 0.25 \text{ ohm}$*



Gambar 4.36. *Hubung singkat tiga fasa tanpa kapasitansi, $R_f = 0.50 \text{ ohm}$*



Gambar 4.37. *Hubung singkat tiga fasa dengan kapasitansi, $R_f = 0.50 \text{ ohm}$*

BAB V

P E N U T U P

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Metoda estimasi lokasi gangguan dengan memperhitungkan arus dan tegangan pada dua sisi terminal menunjukkan hasil yang cukup baik, hal tersebut mengacu pada persentase error yang rata-rata kurang dari 4 %.
2. Metoda ini juga dapat mengestimasi besarnya tahanan gangguan, sehingga estimasi lokasi gangguan yang didapat mempunyai ketelitian yang lebih baik.
3. Perhitungan estimasi lokasi gangguan dengan memperhitungkan kapasitansi memperoleh hasil yang lebih baik dibanding dengan perhitungan tanpa kapasitansi, hal ini ditunjukkan dengan penurunan persentase error rata-rata.

5.2 S A R A N

1. Metoda ini dapat dilanjutkan dengan aplikasi pada saluran ganda dimana kopling bersama termasuk kopling urutan nol antar saluran turut diperhitungkan.
2. Pada penggunaan rele impedansi untuk proteksi saluran transmisi, panjang saluran yang dilindungi harus disesuaikan dengan tegangan sistem transmisi. Karena bila daerah operasi terlalu panjang, kemungkinan rele akan bekerja pada beban maksimum maupun pada kondisi ayunan daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Berlin Saragih, **Metoda Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Tegangan dan Arus Pengukuran Rele Impedansi Digital**, Thesis Magister, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung April 1994.
- [2] ✓ T. Takagi, Y. Yamakoshi, M. Yamaura, R. Kondow and T. Matsushima, **Development of a New type Fault Locator using the One-Terminal Voltage and Current Data**, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 8, Agustus 1982, hal. 2892-2898.
- [3] L. Eriksson, M.M. Saha and G.D. Rockefeller, **An Accurate Fault Locator with Compensation For Apparent Reactance in the Fault Resistance Resulting from Remote-End Infeed**, presented at the IEEE/PES 1984 Summer meeting, Seattle, Washington, Juli 1984, Paper No. 84 SM 624-3.
- [4] ✓ Gill G. Richards and Owen T. Tan, **An Accurate Fault Location Estimation For Transmission Line**, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 4, April 1982, hal. 945-950.
- [5] ✓ M.S. Sachdev, FIEEE and R. Agarwal, St. MIEEE, **A Technique For Estimating Transmission Line Fault Locations From Digital Impedance Relay Measurements**, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No.1, Januari 1988.
- [6] ✓ Stevenson, W.D., Alih bahasa Ir. Kemal Idris, **Analisis Sistem Tenaga Listrik**, Erlangga, Jakarta, 1993.
- [7] ✓ Warrington, A.R. Van C, **Protective Relays**, Chapman and Hall, Vol. 2 Third edition, London, 1977/1978
- [8] Gonen, Turan, **Electric Transmission System Engineering**, Wiley-Interscience publication, 1988.

%Program simulasi gangguan hubung singkat dan estimasi lokasi gangguan

%Oleh : I.G. WIBISONO, 2912201654-Teknik Elektro-FTI-ITS

%A. Estimasi lokasi gangguan pada hubung singkat fasa ke tanah

%1. Perhitungan tanpa kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

for i=1:11;

$Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;$

$Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;$

$Z0xf(i)=(Lx(i)/L)*Z0;$

$Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;$

$Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;$

$Z0yf(i)=(Ly(i)/L)*Z0;$

end;

$I=Vf/(Z1+Z2+Z0+3*Rf);$

for i=1:11;

$I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I;$

$I2yf(i)=((Z2g1+Z2xf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I;$

$I0yf(i)=((Z0g1+Z0xf(i))/(Z0g1+Z0xf(i)+Z0g2+X+Z0yf(i)))*I;$

$Iayf(i)=I0yf(i)+I1yf(i)+I2yf(i);$

$I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I;$

$I2xf(i)=((Z2g2+X+Z2yf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I;$

$I0xf(i)=((Z0g2+X+Z0yf(i))/(Z0g1+Z0xf(i)+Z0g2+X+Z0yf(i)))*I;$

```

Iaxf(i)=I0xf(i)+I1xf(i)+I2xf(i);

end;

for i=1:11;

V1x(i)=(Z1xf(i)*I1xf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V2x(i)=(Z2xf(i)*I2xf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V0x(i)=(Z0xf(i)*I0xf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V1y(i)=(Z1yf(i)*I1yf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V2y(i)=(Z2yf(i)*I2yf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V0y(i)=(Z0yf(i)*I0yf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
Vax(i)=V1x(i)+V2x(i)+V0x(i);
Vay(i)=V1y(i)+V2y(i)+V0y(i);

end;

%Program estimasi lokasi gangguan

k=(Z0-Z1)/(3*Z1);

for i=1:11;

Zx1(i)=Vax(i)/(Iaxf(i)+3*k*I0xf(i));
Zy1(i)=Vay(i)/(Iayf(i)+3*k*I0yf(i));

end;

for i=1:11;

p1(i)=abs(I0yf(i)/I0xf(i));
q1(i)=angle(I0yf(i)/I0xf(i));

end;

```

```

for i=1:11;

Ux1(i)=real((3*I0xf(i))/(Iaxf(i)+3*k*I0xf(i)));

Vx1(i)=imag((3*I0xf(i))/(Iaxf(i)+3*k*I0xf(i)));

Uy1(i)=real((3*I0yf(i))/(Iayf(i)+3*k*I0yf(i)));

Vy1(i)=imag((3*I0yf(i))/(Iayf(i)+3*k*I0yf(i)));

end;

for i=1:11;

a1(i)=real((Zx1(i)+Zy1(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

b1(i)=imag((Zx1(i)+Zy1(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

end;

for i=1:11;

c1(i)=a1(i)*(Ux1(i)*p1(i)-Uy1(i)/p1(i))+b1(i)*(Vx1(i)*p1(i)-Vy1(i)/p1(i))

    /b1(i)*(Ux1(i)+Uy1(i))-a1(i)*(Vx1(i)+Vy1(i));

d1(i)=b1(i)*(Ux1(i)*p1(i)+Uy1(i)/p1(i))-a1(i)*(Vx1(i)*p1(i)+Vy1(i)/p1(i))

    /b1(i)*(Ux1(i)+Uy1(i))-a1(i)*(Vx1(i)+Vy1(i));

end;

for i=1:11;

cosq1(i)=abs((-d1(i)+c1(i)*sqrt((c1(i)*c1(i))+(d1(i)*d1(i))-1)

    /((c1(i)*c1(i))+(d1(i)*d1(i))));

sinq1(i)=abs(sqrt(1-(cosq1(i)*cosq1(i))));

end;

for i=1:11;

```



```

Rf2(i)=a1(i)/((Ux1(i)+Uy1(i)+(Ux1(i)*p1(i)+Uy1(i)/p1(i))*cosq1(i)
    -(Vx1(i)*p1(i)-Vy1(i)/p1(i))*sinq1(i)));
end;
for i=1:11;
Z1xf1(i)=Zx1(i)-((1+p1(i)*cos(q1(i)))*Ux1(i)-(p1(i)*sin(q1(i)))*Vx1(i))*Rf2(i)
    -j*((1+p1(i)*cos(q1(i)))*Vx1(i)+(p1(i)*sin(q1(i)))*Ux1(i))*Rf2(i);
Z1yf1(i)=Zy1(i)-((1+cos(q1(i))/p1(i))*Uy1(i)+(sin(q1(i))/p1(i))*Vy1(i))*Rf2(i)
    -j*((1+cos(q1(i))/p1(i))*Vy1(i)-(sin(q1(i))/p1(i))*Uy1(i))*Rf2(i);
end;
for i=1:11;
Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));
Ly1(i)=L-Lx1(i);
end;

```

%2. Perhitungan dengan kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

```

for i=1:11;
Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;
Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;
Z0xf(i)=(Lx(i)/L)*Z0;
Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;
Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;
Z0yf(i)=(Ly(i)/L)*Z0;

```

```

end;

I=Vf/(Z1+Z2+Z0+3*Rf);

for i=1:11;

I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I;
I2yf(i)=((Z2g1+Z2xf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I;
I0yf(i)=((Z0g1+Z0xf(i))/(Z0g1+Z0xf(i)+Z0g2+X+Z0yf(i)))*I;
Iayf(i)=I0yf(i)+I1yf(i)+I2yf(i);

I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I;
I2xf(i)=((Z2g2+X+Z2yf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I;
I0xf(i)=((Z0g2+X+Z0yf(i))/(Z0g1+Z0xf(i)+Z0g2+X+Z0yf(i)))*I;
Iaxf(i)=I0xf(i)+I1xf(i)+I2xf(i);

end;

for i=1:11;

V1x(i)=(Z1xf(i)*I1xf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V2x(i)=(Z2xf(i)*I2xf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V0x(i)=(Z0xf(i)*I0xf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V1y(i)=(Z1yf(i)*I1yf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V2y(i)=(Z2yf(i)*I2yf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);
V0y(i)=(Z0yf(i)*I0yf(i))+((I0xf(i)+I0yf(i))*Rf);

end;

%Program estimasi lokasi gangguan

k=(Z0-Z1)/(3*Z1);

```

```

for i=1:11;

Vax(i)=V1x(i)+V2x(i)+V0x(i);

Vay(i)=V1y(i)+V2y(i)+V0y(i);

end;

for i=1:11;

I1cy(i)=V1y(i)*(Y1sh/2);

I2cy(i)=V2y(i)*(Y2sh/2);

I0cy(i)=V0y(i)*(Y0sh/2);

I1cyf(i)=I1yf(i)-I1cy(i);

I2cyf(i)=I2yf(i)-I2cy(i);

I0cyf(i)=I0yf(i)-I0cy(i);

Iacyf(i)=I1cyf(i)+I2cyf(i)+I0cyf(i);

end;

for i=1:11;

I1cx(i)=V1x(i)*(Y1sh/2);

I2cx(i)=V2x(i)*(Y2sh/2);

I0cx(i)=V0x(i)*(Y0sh/2);

I1cxf(i)=I1xf(i)-I1cx(i);

I2cxf(i)=I2xf(i)-I2cx(i);

I0cxf(i)=I0xf(i)-I0cx(i);

Iacxf(i)=I1cxf(i)+I2cxf(i)+I0cxf(i);

end;

```

```

for i=1:11;

Zx1(i)=Vax(i)/(Iacxf(i)+3*k*I0cxf(i));

Zy1(i)=Vay(i)/(Iacyf(i)+3*k*I0cyf(i));

end;

for i=1:11;

p1(i)=abs(I0cyf(i)/I0cxf(i));

q1(i)=angle(I0cyf(i)/I0cxf(i));

end;

for i=1:11;

Ux1(i)=real((3*I0cxf(i))/(Iacxf(i)+3*k*I0cxf(i)));

Vx1(i)=imag((3*I0cxf(i))/(Iacxf(i)+3*k*I0cxf(i)));

Uy1(i)=real((3*I0cyf(i))/(Iacyf(i)+3*k*I0cyf(i)));

Vy1(i)=imag((3*I0cyf(i))/(Iacyf(i)+3*k*I0cyf(i)));

end;

for i=1:11;

a1(i)=real((Zx1(i)+Zy1(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

b1(i)=imag((Zx1(i)+Zy1(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

end;

for i=1:11;

c1(i)=a1(i)*(Ux1(i)*p1(i)-Uy1(i)/p1(i))+b1(i)*(Vx1(i)*p1(i)-Vy1(i)/p1(i))

      /b1(i)*(Ux1(i)+Uy1(i))-a1(i)*(Vx1(i)+Vy1(i));

d1(i)=b1(i)*(Ux1(i)*p1(i)+Uy1(i)/p1(i))-a1(i)*(Vx1(i)*p1(i)+Vy1(i)/p1(i))

```

```

        /b1(i)*(Ux1(i)+Uy1(i))-a1(i)*(Vx1(i)+Vy1(i));

end;

for i=1:11;

cosq1(i)=abs((-d1(i)+c1(i)*sqrt((c1(i)*c1(i)+(d1(i)*d1(i))-1)

        /((c1(i)*c1(i)+(d1(i)*d1(i)))));

sinq1(i)=abs(sqrt(1-(cosq1(i)*cosq1(i))));

end;

for i=1:11;

Rf2(i)=a1(i)/((Ux1(i)+Uy1(i)+(Ux1(i)*p1(i)+Uy1(i)/p1(i))*cosq1(i)

        -(Vx1(i)*p1(i)-Vy1(i)/p1(i))*sinq1(i)));

end;

for i=1:11;

Z1xf1(i)=Zx1(i)-((1+p1(i)*cos(q1(i)))*Ux1(i)-(p1(i)*sin(q1(i)))*Vx1(i))*Rf2(i)

        -j*((1+p1(i)*cos(q1(i)))*Vx1(i)+(p1(i)*sin(q1(i)))*Ux1(i))*Rf2(i);

Z1yf1(i)=Zy1(i)-((1+cos(q1(i))/p1(i))*Uy1(i)+(sin(q1(i))/p1(i))*Vy1(i))*Rf2(i)

        -j*((1+cos(q1(i))/p1(i))*Vy1(i)-(sin(q1(i))/p1(i))*Uy1(i))*Rf2(i);

end;

for i=1:11;

Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));

Ly1(i)=L-Lx1(i);

end;

```

%B. Estimasi lokasi gangguan pada hubung singkat fasa ke fasa

%1. Program perhitungan tanpa kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

$a2=(-0.5-0.866i);$

$a=(-0.5+0.866i);$

for i=1:11;

$Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;$

$Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;$

$Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;$

$Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;$

end;

$If=(-j*(\text{sqrt}(3))*Vf)/(Z1+Z2+Rf);$

$I1f=If/(a2-a);$

$I2f=-I1f;$

$Ibf=If;$

$Icf=-Ibf;$

$V1=Vf-(I1f*Z1);$

$V2=-I2f*Z2;$

for i=1:11;

$I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1f;$

$I2yf(i)=((Z2g1+Z2xf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2f;$

$I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1f;$

```

I2xf(i)=((Z2g2+X+Z2yf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2f;

Ibyf(i)=(a2*I1yf(i))+(a*I2yf(i));

Ibxf(i)=(a2*I1xf(i))+(a*I2xf(i));

Icyf(i)=-(Ibyf(i));

Icxf(i)=-(Ibxf(i));

end;

for i=1:11;

V1x(i)=Vf-(I1xf(i)*Z1xf(i));

V1y(i)=Vf-(I1yf(i)*Z1yf(i));

V2x(i)=-(I2xf(i)*Z2xf(i));

V2y(i)=-(I2yf(i)*Z2yf(i));

end;

%Program estimasi lokasi gangguan

for i=1:11;

p2(i)=abs(I1yf(i)/I1xf(i));

q2(i)=angle(I1yf(i)/I1xf(i));

end;

for i=1:11;

Ux2(i)=real(I1xf(i)/(I1xf(i)-I2xf(i)));

Vx2(i)=imag(I1xf(i)/(I1xf(i)-I2xf(i)));

Uy2(i)=real(I1yf(i)/(I1yf(i)-I2yf(i)));

Vy2(i)=imag(I1yf(i)/(I1yf(i)-I2yf(i)));

```

```

end;

for i=1:11;

Zx2(i)=Z1xf(i)+(Ux2(i)+j*Vx2(i))*(1+(I1yf(i)/I1xf(i)))*Rf;

Zy2(i)=Z1yf(i)+(Uy2(i)+j*Vy2(i))*(1+(I1xf(i)/I1yf(i)))*Rf;

end;

for i=1:11;

a2(i)=real((Zx2(i)+Zy2(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

b2(i)=imag((Zx2(i)+Zy2(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

end;

for i=1:11;

c2(i)=a2(i)*(Ux2(i)*p2(i)-Uy2(i)/p2(i))+b2(i)*(Vx2(i)*p2(i)-Vy2(i)/p2(i))

/b2(i)*(Ux2(i)+Uy2(i))-a2(i)*(Vx2(i)+Vy2(i));

d2(i)=b2(i)*(Ux2(i)*p2(i)+Uy2(i)/p2(i))-a2(i)*(Vx2(i)*p2(i)+Vy2(i)/p2(i))

/b2(i)*(Ux2(i)+Uy2(i))-a2(i)*(Vx2(i)+Vy2(i));

end;

for i=1:11;

cosq2(i)=abs((-d2(i)+c2(i)*sqrt((c2(i)*c2(i))+(d2(i)*d2(i))-1)

/((c2(i)*c2(i))+(d2(i)*d2(i))));

sinq2(i)=abs(sqrt(1-(cosq2(i)*cosq2(i))));

end;

for i=1:11;

Rf2(i)=a2(i)/((Ux2(i)+Uy2(i)+(Ux2(i)*p2(i)+Uy2(i)/p2(i))*cosq2(i)

```



```

        -(Vx2(i)*p2(i)-Vy2(i)/p2(i))*sin(q2(i)));
end;

for i=1:11;

Z1xf1(i)=Zx2(i)-((1+p2(i)*cos(q2(i)))*Ux2(i)-(p2(i)*sin(q2(i)))*Vx2(i))*Rf2(i)
        -j*((1+p2(i)*cos(q2(i)))*Vx2(i)+(p2(i)*sin(q2(i)))*Ux2(i))*Rf2(i);

Z1yf1(i)=Zy2(i)-((1+cos(q2(i))/p2(i))*Uy2(i)+(sin(q2(i))/p2(i))*Vy2(i))*Rf2(i)
        -j*((1+cos(q2(i))/p2(i))*Vy2(i)-(sin(q2(i))/p2(i))*Uy2(i))*Rf2(i);

end;

for i=1:11;

Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));

Ly1(i)=L-Lx1(i);

end;

```

%2. Perhitungan dengan kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

```

a2=(-0.5-0.866i);

a=(-0.5+0.866i);

for i=1:11;

Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;

Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;

Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;

Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;

end;

```

```

If=(-j*(sqrt(3))*Vf)/(Z1+Z2+Rf);

I1f=If/(a2-a);

I2f=-I1f;

Ibf=If;

Icf=-Ibf;

V1=Vf-(I1f*Z1);

V2=-I2f*Z2;

for i=1:11;

I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1f;

I2yf(i)=((Z2g1+Z2xf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2f;

I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1f;

I2xf(i)=((Z2g2+X+Z2yf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2f;

Ibyf(i)=(a2*I1yf(i))+(a*I2yf(i));

Ibxf(i)=(a2*I1xf(i))+(a*I2xf(i));

Icyf(i)=-(Ibyf(i));

Icxf(i)=-(Ibxf(i));

end;

for i=1:11;

V1x(i)=Vf-(I1xf(i)*Z1xf(i));

V1y(i)=Vf-(I1yf(i)*Z1yf(i));

V2x(i)=-(I2xf(i)*Z2xf(i));

V2y(i)=-(I2yf(i)*Z2yf(i));

```

```

end;

for i=1:11;

I1cy(i)=V1y(i)*(Y1sh/2);
I2cy(i)=V2y(i)*(Y2sh/2);
I1cyf(i)=I1yf(i)-I1cy(i);
I2cyf(i)=I2yf(i)-I2cy(i);
I1cx(i)=V1x(i)*(Y1sh/2);
I2cx(i)=V2x(i)*(Y2sh/2);
I1cxf(i)=I1xf(i)-I1cx(i);
I2cxf(i)=I2xf(i)-I2cx(i);

end;

%Program estimasi lokasi gangguan

for i=1:11;

p2(i)=abs(I1cyf(i)/I1cxf(i));
q2(i)=angle(I1cyf(i)/I1cxf(i));

end;

for i=1:11;

Ux2(i)=real(I1cxf(i)/(I1cxf(i)-I2cxf(i)));
Vx2(i)=imag(I1cxf(i)/(I1cxf(i)-I2cxf(i)));
Uy2(i)=real(I1cyf(i)/(I1cyf(i)-I2cyf(i)));
Vy2(i)=imag(I1cyf(i)/(I1cyf(i)-I2cyf(i)));

end;

```

```

for i=1:11;

Zx2(i)=Z1xf(i)+(Ux2(i)+j*Vx2(i))*(1+(I1cyf(i)/I1cxf(i)))*Rf;

Zy2(i)=Z1yf(i)+(Uy2(i)+j*Vy2(i))*(1+(I1cxf(i)/I1cyf(i)))*Rf;

end;

for i=1:11;

a2(i)=real((Zx2(i)+Zy2(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

b2(i)=imag((Zx2(i)+Zy2(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

end;

for i=1:11;

c2(i)=a2(i)*(Ux2(i)*p2(i)-Uy2(i)/p2(i))+b2(i)*(Vx2(i)*p2(i)-Vy2(i)/p2(i))

/b2(i)*(Ux2(i)+Uy2(i))-a2(i)*(Vx2(i)+Vy2(i));

d2(i)=b2(i)*(Ux2(i)*p2(i)+Uy2(i)/p2(i))-a2(i)*(Vx2(i)*p2(i)+Vy2(i)/p2(i))

/b2(i)*(Ux2(i)+Uy2(i))-a2(i)*(Vx2(i)+Vy2(i));

end;

for i=1:11;

cosq2(i)=abs((-d2(i)+c2(i)*sqrt((c2(i)*c2(i))+(d2(i)*d2(i))-1)

/((c2(i)*c2(i))+(d2(i)*d2(i))));

sinq2(i)=abs(sqrt(1-(cosq2(i)*cosq2(i))));

end;

for i=1:11;

Rf2(i)=a2(i)/((Ux2(i)+Uy2(i)+(Ux2(i)*p2(i)+Uy2(i)/p2(i))*cosq2(i)

-(Vx2(i)*p2(i)-Vy2(i)/p2(i))*sinq2(i)));

```

```

end;

for i=1:11;

Z1xf2(i)=Zx2(i)-((1+p2(i)*cos(q2(i)))*Ux2(i)-(p2(i)*sin(q2(i)))*Vx2(i))*Rf2(i)
-j*((1+p2(i)*cos(q2(i)))*Vx2(i)+(p2(i)*sin(q2(i)))*Ux2(i))*Rf2(i);

Z1yf2(i)=Zy2(i)-((1+cos(q2(i))/p2(i))*Uy2(i)+(sin(q2(i))/p2(i))*Vy2(i))*Rf2(i)
-j*((1+cos(q2(i))/p2(i))*Vy2(i)-(sin(q2(i))/p2(i))*Uy2(i))*Rf2(i);

end;

for i=1:11;

Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));

Ly1(i)=L-Lx1(i);

end;

```

%C. Estimasi lokasi gangguan pada hubung singkat 2 fasa-tanah

%1.Perhitungan tanpa kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

```

a2=(-0.5-0.866i);

a=(-0.5+0.866i);

for i=1:11;

Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;

Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;

Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;

Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;

```

```

end;

I1=Vf/(Z1+Rfg+((Z2+Rfg)*(Z0+Rfg+(3*Rg)))/((Z0+Z2+(2*Rfg)+(3*Rg))));

I2=(-I1*(Z0+Rfg+(3*Rg)))/(Z0+Z2+(2*Rfg)+(3*Rg));

I0=(-I1*(Z2+Rfg))/(Z0+Z2+(2*Rfg)+(3*Rg));

for i=1:11;

I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;

I2yf(i)=((Z2g1+Z2xf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2;

I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;

I2xf(i)=((Z2g2+X+Z2yf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2;

end;

%Program estimasi lokasi gangguan

for i=1:11;

p2g(i)=abs((I1yf(i)-I2yf(i))/(I1xf(i)-I2xf(i)));

q2g(i)=angle((I1yf(i)-I2yf(i))/(I1xf(i)-I2xf(i)));

end;

for i=1:11;

Ux2(i)=real(I1xf(i)/(I1xf(i)-I2xf(i)));

Vx2(i)=imag(I1xf(i)/(I1xf(i)-I2xf(i)));

Uy2(i)=real(I1yf(i)/(I1yf(i)-I2yf(i)));

Vy2(i)=imag(I1yf(i)/(I1yf(i)-I2yf(i)));

end;

for i=1:11;

```

```

Zx2g(i)=Z1xf(i)+Rfg*(1+((I1yf(i)-I2yf(i))/(I1xf(i)-I2xf(i))));
Zy2g(i)=Z1yf(i)+Rfg*(1+((I1xf(i)-I2xf(i))/(I1yf(i)-I2yf(i))));
end;
for i=1:11;
a2(i)=real((Zx2g(i)+Zy2g(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));
b2(i)=imag((Zx2g(i)+Zy2g(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));
end;
for i=1:11;
c2(i)=(a2(i)/(2*b2(i)))*(p2g(i)-(1/p2g(i)));
d2(i)=(1/2)*(p2g(i)+(1/p2g(i)));
end;
for i=1:11;
cosq2(i)=abs((-d2(i)+c2(i)*sqrt((c2(i)*c2(i)+(d2(i)*d2(i))-1)
/((c2(i)*c2(i)+(d2(i)*d2(i))))));
sinq2(i)=abs(sqrt(1-(cosq2(i)*cosq2(i))));
end;
for i=1:11;
Rf2g(i)=a2(i)/((Ux2(i)+Uy2(i)+(Ux2(i)*p2g(i)+Uy2(i)/p2g(i))*cosq2(i)
-(Vx2(i)*p2g(i)-Vy2(i)/p2g(i))*sinq2(i)));
end;
for i=1:11;
Z1xf1(i)=Zx2g(i)-(1+p2g(i)*cos(q2g(i)))*Rf2g(i)-j*(p2g(i)*sin(q2g(i)))*Rf2g(i);

```

```
Z1yf1(i)=Zy2g(i)-(1+(1/p2g(i))*cos(q2g(i)))*Rf2g(i)
```

```
+j*((1/p2g(i))*sin(q2g(i)))*Rf2g(i);
```

```
end;
```

```
for i=1:11;
```

```
Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));
```

```
Ly1(i)=L-Lx1(i);
```

```
end;
```

%2. Perhitungan dengan kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

```
a2=(-0.5-0.866i);
```

```
a=(-0.5+0.866i);
```

```
for i=1:11;
```

```
Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;
```

```
Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;
```

```
Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;
```

```
Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;
```

```
end;
```

```
I1=Vf/(Z1+Rfg+((Z2+Rfg)*(Z0+Rfg+(3*Rg)))/((Z0+Z2+(2*Rfg)+(3*Rg))));
```

```
I2=(-I1*(Z0+Rfg+(3*Rg)))/(Z0+Z2+(2*Rfg)+(3*Rg));
```

```
I0=(-I1*(Z2+Rfg))/(Z0+Z2+(2*Rfg)+(3*Rg));
```

```
for i=1:11;
```

```
Ilyf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;
```



```

I2yf(i)=((Z2g1+Z2xf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2;
I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;
I2xf(i)=((Z2g2+X+Z2yf(i))/(Z2g1+Z2xf(i)+Z2g2+X+Z2yf(i)))*I2;
end;
for i=1:11;
V1x(i)=Vf-(I1xf(i)*Rfg);
V1y(i)=Vf-(I1yf(i)*Rfg);
V2x(i)=Vf-(I2xf(i)*Rfg);
V2y(i)=Vf-(I2yf(i)*Rfg);
end;
for i=1:11;
I1cy(i)=V1y(i)*(Y1sh/2);
I2cy(i)=V2y(i)*(Y2sh/2);
I1cyf(i)=I1yf(i)-I1cy(i);
I2cyf(i)=I2yf(i)-I2cy(i);
I1cx(i)=V1x(i)*(Y1sh/2);
I2cx(i)=V2x(i)*(Y2sh/2);
I1cxf(i)=I1xf(i)-I1cx(i);
I2cxf(i)=I2xf(i)-I2cx(i);
end;

```

%Program estimasi lokasi gangguan

for i=1:11;

p2g(i)=abs((I1cyf(i)-I2cyf(i))/(I1cxf(i)-I2cxf(i)));

q2g(i)=angle((I1cyf(i)-I2cyf(i))/(I1cxf(i)-I2cxf(i)));

end;

for i=1:11;

Ux2(i)=real(I1cxf(i)/(I1cxf(i)-I2cxf(i)));

Vx2(i)=imag(I1cxf(i)/(I1cxf(i)-I2cxf(i)));

Uy2(i)=real(I1cyf(i)/(I1cyf(i)-I2cyf(i)));

Vy2(i)=imag(I1cyf(i)/(I1cyf(i)-I2cyf(i)));

end;

for i=1:11;

Zx2g(i)=Z1xf(i)+Rfg*(1+((I1cyf(i)-I2cyf(i))/(I1cxf(i)-I2cxf(i))));

Zy2g(i)=Z1yf(i)+Rfg*(1+((I1cxf(i)-I2cxf(i))/(I1cyf(i)-I2cyf(i))));

end;

for i=1:11;

a2(i)=real((Zx2g(i)+Zy2g(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

b2(i)=imag((Zx2g(i)+Zy2g(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

end;

for i=1:11;

c2(i)=(a2(i)/(2*b2(i)))*(p2g(i)-(1/p2g(i)));

d2(i)=(1/2)*(p2g(i)+(1/p2g(i)));

```

end;

for i=1:11;

cosq2(i)=abs((-d2(i)+c2(i)*sqrt((c2(i)*c2(i))+(d2(i)*d2(i))-1)

/((c2(i)*c2(i))+(d2(i)*d2(i)))));

sinq2(i)=abs(sqrt(1-(cosq2(i)*cosq2(i))));

end;

for i=1:11;

Rf2g(i)=a2(i)/((Ux2(i)+Uy2(i)+(Ux2(i)*p2g(i)+Uy2(i)/p2g(i))*cosq2(i)

-(Vx2(i)*p2g(i)-Vy2(i)/p2g(i))*sinq2(i)));

end;

for i=1:11;

Z1xf1(i)=Zx2g(i)-(1+p2g(i)*cos(q2g(i)))*Rf2g(i)-j*(p2g(i)*sin(q2g(i)))*Rf2g(i);

Z1yf1(i)=Zy2g(i)-(1+(1/p2g(i))*cos(q2g(i)))*Rf2g(i)

+j*((1/p2g(i))*sin(q2g(i)))*Rf2g(i);

end;

for i=1:11;

Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));

Ly1(i)=L-Lx1(i);

end;

```

%D. Estimasi lokasi gangguan pada hubung singkat 3 fasa

%1. Perhitungan tanpa kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

```
a2=(-0.5-0.866i);  
a=(-0.5+0.866i);  
for i=1:11;  
Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;  
Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;  
Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;  
Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;  
end;  
I1=Vf/(Z1+Rf);  
for i=1:11;  
I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;  
I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;  
end;
```

%Program estimasi lokasi gangguan

```
for i=1:11;  
p3(i)=abs(I1yf(i)/I1xf(i));  
q3(i)=angle(I1yf(i)/I1xf(i));  
end;  
for i=1:11;
```

```

Zx3(i)=Z1xf(i)+(Rf*(1+(I1yf(i)/I1xf(i))));
Zy3(i)=Z1yf(i)+(Rf*(1+(I1xf(i)/I1yf(i))));
end;
for i=1:11;
a3(i)=real((Zx3(i)+Zy3(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));
b3(i)=imag((Zx3(i)+Zy3(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));
end;
for i=1:11;
c3(i)=(a3(i)/(2*b3(i)))*(p3(i)-(1/p3(i)));
d3(i)=(1/2)*(p3(i)+(1/p3(i)));
end;
for i=1:11;
cosq3(i)=abs((-d3(i)+c3(i)*sqrt((c3(i)*c3(i))+(d3(i)*d3(i))-1)
/((c3(i)*c3(i))+(d3(i)*d3(i))));
sinq3(i)=abs(sqrt(1-(cosq3(i)*cosq3(i))));
end;
for i=1:11;
Rf3(i)=a3(i)/(2+(I1yf(i)/I1xf(i))+(I1xf(i)/I1yf(i)));
end;
for i=1:11;
Z1xf1(i)=Zx3(i)-(1+p3(i)*cos(q3(i)))*Rf3(i)-j*(p3(i)*sin(q3(i)))*Rf3(i);
Z1yf1(i)=Zy3(i)-(1+(1/p3(i))*cos(q3(i)))*Rf3(i)+j*((1/p3(i))*sin(q3(i)))*Rf3(i);

```

end;

for i=1:11;

$Lx1(i)=L*(\text{imag}(Z1xf1(i))/\text{imag}(Z1));$

$Ly1(i)=L-Lx1(i);$

end;

%2. Perhitungan dengan kapasitansi

%Program simulasi gangguan hubung singkat

$a2=(-0.5-0.866i);$

$a=(-0.5+0.866i);$

for i=1:11;

$Z1xf(i)=(Lx(i)/L)*Z1;$

$Z2xf(i)=(Lx(i)/L)*Z2;$

$Z1yf(i)=(Ly(i)/L)*Z1;$

$Z2yf(i)=(Ly(i)/L)*Z2;$

end;

$I1=Vf/(Z1+Rf);$

for i=1:11;

$I1yf(i)=((Z1g1+Z1xf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;$

$I1xf(i)=((Z1g2+X+Z1yf(i))/(Z1g1+Z1xf(i)+Z1g2+X+Z1yf(i)))*I1;$

end;

for i=1:11;

$V1x(i)=Vf-(Z1xf(i)*I1xf(i));$

```

V1y(i)=Vf-(Z1yf(i)*I1yf(i));

end;

for i=1:11;

I1cy(i)=V1y(i)*(Y1sh/2);

I1cyf(i)=I1yf(i)-I1cy(i);

I1cx(i)=V1x(i)*(Y1sh/2);

I1cxf(i)=I1xf(i)-I1cx(i);

end;

%Program estimasi lokasi gangguan

for i=1:11;

p3(i)=abs(I1cyf(i)/I1cxf(i));

q3(i)=angle(I1cyf(i)/I1cxf(i));

end;

for i=1:11;

Zx3(i)=Z1xf(i)+(Rf*(1+(I1cyf(i)/I1cxf(i))));

Zy3(i)=Z1yf(i)+(Rf*(1+(I1cxf(i)/I1cyf(i))));

end;

for i=1:11;

a3(i)=real((Zx3(i)+Zy3(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

b3(i)=imag((Zx3(i)+Zy3(i)-(Z1xf(i)+Z1yf(i))));

end;

for i=1:11;

```

```

c3(i)=(a3(i)/(2*b3(i)))*(p3(i)-(1/p3(i)));
d3(i)=(1/2)*(p3(i)+(1/p3(i)));
end;
for i=1:11;
cosq3(i)=abs((-d3(i)+c3(i)*sqrt((c3(i)*c3(i))+(d3(i)*d3(i))-1)
/((c3(i)*c3(i))+(d3(i)*d3(i))));
sinq3(i)=abs(sqrt(1-(cosq3(i)*cosq3(i))));
end;
for i=1:11;
Rf3(i)=a3(i)/(2+(I1cyf(i)/I1cxf(i))+(I1cxf(i)/I1cyf(i)));
end;
for i=1:11;
Z1xf2(i)=Zx3(i)-(1+p3(i)*cos(q3(i)))*Rf3(i)-j*(p3(i)*sin(q3(i)))*Rf3(i);
Z1yf2(i)=Zy3(i)-(1+(1/p3(i))*cos(q3(i)))*Rf3(i)+j*((1/p3(i))*sin(q3(i)))*Rf3(i);
end;
for i=1:11;
Lx1(i)=L*(imag(Z1xf1(i))/imag(Z1));
Ly1(i)=L-Lx1(i);
end;

```


DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Ignasius Gunawan Wibisono, dilahirkan di Surabaya, 16 Februari 1973. Merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara, dari pasangan suami-istri M.J. Hadimoeljoto dan Rr. A. Suprijati.

Riwayat pendidikan :

- | | |
|--|----------------------|
| 1. TK Santa Clara, Surabaya | tahun 1977 - 1979 |
| 2. SDN Kertajaya XIII No 219, Surabaya | tahun 1979 - 1985 |
| 3. SMPN 6 Surabaya | tahun 1985 - 1988 |
| 4. SMAN 5 Surabaya | tahun 1988 - 1991 |
| 5. Jurusan Teknik Elektro, FTI - ITS | tahun 1991- sekarang |

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Unit Kegiatan Olah raga air Divisi Renang, Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS dan Menjadi Asisten Praktikum pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO ITS

EE 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama Mahasiswa : I. G. WIBISONO
Nomor Pokok : 2912201654
Bidang Studi : Teknik Sistem Tenaga
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Sidarjanto
2. Ir. Margo Pujiantara, MT
Tugas diberikan pada : September 1995
Judul Tugas Akhir

**METODE PENENTUAN LOKASI GANGGUAN BERDASARKAN DATA
PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS PADA DUA TERMINAL**

Uraian Tugas Akhir :

Saluran transmisi tenaga listrik tidak dapat terlepas dari gangguan hubung singkat, baik gangguan hubung singkat antar fasa maupun gangguan hubung singkat fasa dengan tanah. Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi umumnya dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan - peralatan listrik yang terhubung dengan sistem yang sedang mengalami gangguan tersebut. Dengan demikian perlu adanya sistem proteksi yang dapat segera memisahkan sistem dari gangguan, di samping itu juga dibutuhkan suatu peralatan yang dapat mendeteksi lokasi gangguan untuk mempercepat proses perbaikan terutama bila gangguan bersifat permanen.

Salah satu metode yang dikembangkan untuk menentukan lokasi gangguan hubung singkat ini adalah metode penentuan lokasi gangguan hubung singkat menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan frekuensi sistem pada kedua terminal yang terhubung dengan saluran yang mengalami gangguan hubung singkat.

Tugas akhir ini mempresentasikan suatu metode non iterasi yang mengestimasi lokasi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dari rele jarak. Metode ini menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan frekuensi sistem pada kedua terminal dengan rele jarak digital. Dalam membahas tugas akhir ini penulis tidak melakukan pengukuran data langsung, tetapi tegangan dan arus gangguan disimulasikan dengan program komputer. Dalam prosedur estimasi ini impedansi sumber, faktor distribusi dan data awal gangguan arus tidak diperlukan.

Surabaya, 12 September 1995

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

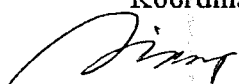
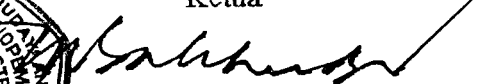



Ir. Sidarjanto
NIP. 130 532 009

Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 131 925 501

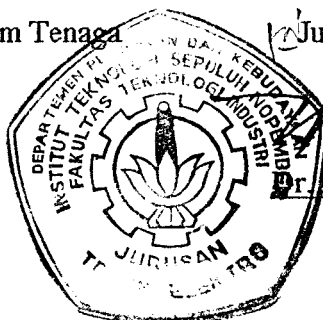
Menyetujui
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Koordinator

Mengetahui
Jurusan Teknik Elektro FTI ITS
Ketua

Ir. Sidarjanto
NIP. 130 532 009

Ir. Moch. Salehudin, M. Eng. Sc.
NIP. 130 532 026



USULAN TUGAS AKHIR

- JUDUL** : METODE PENENTUAN LOKASI GANGGUAN BERDASARKAN DATA PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS PADA DUA TERMINAL.
- RUANG LINGKUP** :
- Analisa Sistem Tenaga I
- Analisa Sistem Tenaga II
- Sistem Pengaman Tenaga Listrik
- LATAR BELAKANG** : Adanya gangguan hubung singkat pada saluran transmisi tenaga listrik baik antar fasa maupun fasa dengan tanah, yang pada umumnya merusak peralatan - peralatan listrik yang terhubung dengan sistem yang mengalami gangguan tersebut, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat segera memisahkan sistem dari gangguan dan juga dibutuhkan suatu peralatan yang dapat mendeteksi lokasi gangguan untuk mempercepat proses perbaikan terutama bila gangguan bersifat permanen.
Salah satu metode untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan metode penentuan lokasi gangguan hubung singkat menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan frekuensi sistem pada kedua terminal yang terhubung dengan lokasi gangguan.
- TUJUAN** : Tugas akhir ini membahas mengenai metode untuk menentukan lokasi gangguan hubung singkat menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan frekuensi sistem pada kedua terminal, dimaksudkan untuk dapat memperkirakan lokasi gangguan hubung singkat setepat mungkin untuk mempercepat proses perbaikan pada sistem yang terganggu.
- PERMASALAHAN** : Mempresentasikan metode penentuan lokasi gangguan hubung singkat menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan frekuensi sistem pada kedua terminal.
- BATASAN MASALAH** : Pembahasan hanya berkisar pada metode penentuan lokasi gangguan hubung singkat menggunakan data hasil pengukuran arus dan tegangan frekuensi sistem pada kedua terminal yang disimulasikan dengan program komputer.
- RELEVANSI** : Dengan mengetahui metode ini diharapkan dapat memecahkan masalah mengenai gangguan hubung singkat pada saluran transmisi tenaga listrik, menentukan lokasi gangguan secara lebih tepat, dan mempercepat proses perbaikan terutama bila gangguan bersifat permanen.
- LANGKAH - LANGKAH** :
1. Studi Literatur
2. Simulasi
3. Pembahasan Masalah
4. Kesimpulan
5. Penulisan Tugas Akhir

JADWAL PELAKSANAAN : Tugas akhir ini direncanakan selama 6 bulan, dengan perincian sebagai berikut :

No	Kegiatan	Bulan Ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur						
2	Simulasi						
3	Pembahasan Masalah						
4	Kesimpulan						
5	Penulisan Tugas Akhir						